

**SEBASTIÃO ALVES DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DO ASSOREAMENTO DO LAGO BONSUCESSO,  
JATAÍ – GO.**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Geologia Ambiental, ao Setor de Ciências da Terra, Curso de Pós-Graduação, Geologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Alberto Fernandes – UFPR

Co-orientador: Prof. Dr. Alberto Pio Fiori – UFPR

Co-orientador: Prof. Dr. Hildeu Ferreira de Assunção – UFG

**CURITIBA**

**2007**

Silva, Sebastião Alves da  
Avaliação do assoreamento do Lago Bonsucesso, Jataí – GO /  
Sebastião Alves da Silva. - Curitiba, 2007.  
xi, 96 f. : il., tabs.

Orientador: Luiz Alberto Fernandes

Co-orientadores: Alberto Pio Fiori

Hildeu Ferreira de Assunção

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor  
de Ciências da Terra, Curso de Pós-Graduação em Geologia  
Inclui Bibliografia.

1. Assoreamento. 2. Sedimentologia. 3. Fragilidade ambiental.  
4. Erosão – Bonsucesso, Lago. I. Fernandes, Luiz Alberto. II. Título.  
III. Universidade Federal do Paraná.

CDD 551.303

## TERMO DE APROVAÇÃO


Sebastião Alves da Silva

### "AVALIAÇÃO DO ASSOREAMENTO DO LAGO BONSUCESSO, JATAI GO".

Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná, Comissão formada por:

  
Prof. Dr. Adalberto Aurélio Azevedo  
Instituto de Pesquisas Tecnológicas

  
Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt  
Universidade Federal do Paraná

  
Prof. Dr. Luiz Alberto Fernandes  
Universidade Federal do Paraná  
Presidente

Curitiba, 01 de junho de 2007.

## DEDICATÓRIA

A Deus pela concepção da vida e a oportunidade de evoluir intelectualmente. Com respeito às pessoas, humildade, dedicação, esforço e por ter aumentado o círculo de amigos, que foram ingredientes importantes para o êxito da conclusão do curso.

Aos meus pais, Onério (*in memoriam*) e Olímpia, por terem ensinado o caminho certo da vida a ser trilhado. Aos meus irmãos: Hilda, Jânio, Elda, Gizelda e Lizelda, pelo apoio e incentivos.

Em especial a família: Telma, esposa e companheira, Taynara e Tayane, minhas filhas, pelo amor, carinho e compreensão na minha ausência, nesse período de estudos, por não participar de momentos de alegrias e dificuldades.

A todas as pessoas que contribuíram de uma forma ou de outra para a realização do mestrado, principalmente aquelas pessoas, que por ventura não foram lembradas.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Luiz Alberto Fernandes, que se dispôs a orientar uma pessoa que não conhecia, teve paciência, empenho nas correções e sugestões para aperfeiçoar o texto. Conduziu o desenvolvimento da Dissertação com profissionalismo, abriu novos horizontes, enriquecendo o meu conhecimento científico e pessoal. Hoje, um grande amigo.

Ao Prof. Dr. Hildeu Ferreira de Assunção (Co-orientador) que não mediu esforços na parte de Geoprocessamento, trabalhos de campo, e principalmente pela oportunidade de desenvolver a pesquisa no Departamento de Geografia do Campus Avançado de Jataí da Universidade Federal de Goiás (CAJ-UFG).

Ao Prof. Dr. Alberto Pio Fiori pela gentileza da co-orientação.

Ao companheiro e amigo, Prof. Dr. João Batista Pereira Cabral que incansavelmente me ajudou, antes mesmo de eu descobrir que deveria seguir a vida acadêmica como pesquisador.

Ao Prof. Dr. Iraci Scopel pela amizade e apoio nos trabalhos de campo, principalmente na descrição dos solos. Aos demais professores do CAJ-UFG, como: Dra. Zilda Mariano, Dr. Dimas Peixinho, Dr. Washington Mendonça Moragas, Dra. Dinalva Donizete Ribeiro, doutoranda Rosana Moragas, doutorando Márcio Rodrigues, pelas palavras de estímulo e ajuda moral. Também aos funcionários, bolsistas e alunos do Departamento de Geografia do CAJ-UFG pelos auxílios diversos.

A todos os professores do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba, pelo conhecimento adquirido nas disciplinas ministradas, em destaque a Profa Dr<sup>a</sup>. Eleonora Vasconcellos, coordenadora do curso de pós-graduação em Geologia. E também a todos os funcionários, principalmente a Sarita Pavin, secretária da pós-graduação.

Aos integrantes do 3º Sub Grupamento de Bombeiros pelas trocas de serviços durante a pesquisa. Em especial ao Tenente Coronel Múcio Ferreira dos Santos (comandante da Unidade de Jataí), por suas palavras sábias de incentivo a estudar cada vez mais. Pelo apoio logístico, como viatura, equipamentos de mergulho e embarcação, nas coletas de sedimentos. Aos meus companheiros e amigos Capitão Ulisses, Sub Tenente Flávio, 2º Sargento Eisenhower, Cabo Cleber, que ajudaram de forma direta e indireta na pesquisa.

Ao comando do Corpo de Bombeiros do Paraná pela concessão de alojamento e alimentação em Curitiba durante os estudos. Também aos oficiais e praças desta instituição pela amizade.

A todos os colegas de pós-graduação, pela amizade e troca de conhecimentos, em especial, ao doutorando Claudinei Silveira Taborda, doutorando José Carlos Branco, Msc. Willian Vargas Flórez e mestranda Camile Urban.

Ao doutorando da UFG Tiago Morato pela disponibilidade de operar o Ecobatímetro na realização da batimetria no lago Bonsucesso.

Aos professores membros da banca de qualificação, Prof. Dr. Adalberto Aurélio Azevedo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo e Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro dos Santos do Departamento de Geografia da UFPR pelas sugestões que ajudaram a enriquecer este trabalho.

Ao Prof. Dr. Marco Aurélio (Coordenador) e ao Cleomar (técnico) do Laboratório de Solos do Setor de Ciências Agrárias do CAJ-UFG, pela oportunidade de realizar as análises granulométricas.

A todos do Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (LAMIR) da UFPR, em nome do Prof. Dr. José Manoel dos Reis Neto (coordenador), e principalmente ao Rodrigo Secchi e Luciane Lemos do Prado pela disponibilidade nas análises granulométricas de sedimentos.

Ao Laboratório de Estudos Sedimentológicos e Petrologia Sedimentar (LabEsed) da UFPR, pelas informações fornecidas nas análises granulométricas.

Ao Fábio Antônio Pozzi, gerente da Nacional Expresso Ltda. em Uberlândia, pelas concessões de passagens de ônibus à Curitiba com finalidade de efetuar estudos, em destaque aos motoristas da empresa pela camaradagem.

Ao Rui Alves da Silva gerente da Viação São Luiz em Cassilândia (MS), pela liberação de viagens que proporcionou a realização de disciplinas na UFPR.

Agradeço imensamente às pessoas que não foram mencionados, que de certa forma colaboram, até mesmo com palavras simples de moral e conforto.

“A educação não cria o gênio, mas oferece-lhe,  
por vezes, oportunidade para se revelar”.

Leoni Kaseff

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE QUADROS.....	ix
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
 1 INTRODUÇÃO.....	 1
1.1 Objetivo geral.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Localização da área de estudos.....	2
1.4 O histórico do lago Bonsucesso e a problemática ambiental.....	4
 2 CONCEITOS E NOMENCLATURA ADOTADA.....	 7
2.1 Processos erosivos.....	7
2.1.1 Tipos de erosão.....	7
2.1.2 Escoamento hídrico.....	8
2.1.3 Depósitos sedimentares em reservatórios.....	9
2.1.3.1 Tipos de depósitos sedimentares em reservatórios.....	10
2.2 Assoreamento de lagos e reservatórios.....	11
2.3 Levantamentos batimétricos.....	12
2.4 Difractometria e fluorescência de raios X em argilo minerais.....	12
2.4.1 Princípios da difração de raios X.....	12
2.4.2 Técnica da fluorescência de raios X.....	12
2.4.3 Argilominerais.....	13
2.5 Erosão em bacias hidrográficas e deposição em reservatório.....	13
2.5.1 A erodibilidade e a erosividade no processo da erosão.....	14
2.5.2 Suscetibilidade à erosão e classes de declividade.....	15
2.5.3 Rede de drenagem.....	16
2.5.4 Transporte de partículas por correntes de água.....	18
2.5.5 Fragilidade Ambiental.....	19
 3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	 21
3.1 Materiais.....	21
3.2 Métodos.....	22
3.2.1 Procedimentos de campo.....	22
3.2.1.1 Amostragem com draga de Peterson.....	22
3.2.1.2 Amostragem com equipamento do tipo “CLS”.....	23
3.2.1.3 Levantamento de perfis batimétricos.....	24
3.2.2 Procedimentos de laboratório.....	25
3.2.2.1 Análises granulométricas.....	25
3.2.2.2 Análise em sedimentos pelíticos.....	28
3.2.3 Procedimentos de escritório.....	30
3.2.3.1 Mapas da área de estudos.....	30
3.2.3.2 Análise estatística de parâmetros granulométricos.....	31
3.2.3.3 Distribuição dos resultados da granulometria.....	31
3.2.3.4 Mapa de Fragilidade Ambiental e Emergente.....	31



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1 Análises dos aspectos fisiográficas da bacia.....	34
4.1.1 Geologia.....	34
4.1.2 Clima.....	36
4.1.3 Hidrografia.....	37
4.1.4 Geomorfologia e altimetria.....	39
4.1.4.1 Classes de declividade.....	40
4.1.5 Pedologia.....	42
4.1.6 Uso e ocupação do solo.....	44
4.1.7 Fragilidade Ambiental da .....	46
4.1.7.1 Fragilidade Potencial Erosivo.....	46
4.1.7.2 Fragilidade Emergente.....	49
4.2 Caracterização granulométrica dos sedimentos de fundo.....	51
4.2.1 Classificação dos sedimentos.....	52
4.2.2 Distribuição dos resultados granulométricos.....	53
4.2.2.1 Distribuição de areias e pelitos.....	53
4.2.2.2 Diâmetro médio.....	54
4.2.2.3 Seleção.....	55
4.2.2.4 Assimetria.....	57
4.2.3 Composição granulométrica de solos das proximidades do lago.....	58
4.2.4 Análise de mineralogia dos pelitos.....	59
4.2.5 Análise dos perfis verticais.....	61
4.2.6 Análise do levantamento batimétrico.....	62
4.2.7 Caracterização do assoreamento e prováveis áreas-fonte.....	64
4.2.8 Áreas de contribuição do assoreamento .....	76
5 CONCLUSÕES.....	82
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
Anexo 1A, 1B, 1C, 1D e 1E: Perfis verticais de depósitos de fundo do lago.....	92

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudos, principais vias e referências geográficas.....	3
Figura 2: Vista aérea, da jusante para montante, do lago Bonsucesso no ano 2001.....	4
Figura 3: Exemplos de uso e ocupação do terreno nas margens lago Bonsucesso.....	6
Figura 4: Depósitos de sedimentos formados nos reservatórios e principais problemas decorrente..	10
Figura 5: Ordem da rede de drenagem.....	17
Figura 6: Draga de Peterson, equipamento utilizado na coleta de sedimentos de fundo do lago.....	22
Figura 7: Equipamento “CLS”, com cano de PVC para coleta de amostras verticais de sedimentos fundo do lago.....	23
Figura 8: A) Corte dos tubos de PVC em duas meia-canais para descrição dos testemunhos; B) material exposto para caracterização granulométrica, feições texturais e estruturas sedimentares.....	24
Figura 9: Equipamentos utilizados no levantamento de dados batimétricos.....	25
Figura 10: A) Material após secagem em estufa; B: béqueres com amostra pronta para quantificação de teor de matéria orgânica.....	26
Figura 11: A) Misturador mecânico de hélice utilizado na homogeneização da amostra e dissolução do defloculante; B) material utilizado na pipetagem.....	27
Figura 12: A) Elutriação da amostra para posterior peneiramento, após secagem; B) agitador mecânico <i>rot up</i> com jogo de peneiras.....	28
Figura 13: A) Material peneirado para retirar restos matéria orgânica; B) Equipamento para pulverizar materiais das amostras.....	29
Figura 14: A) Homogeneização do material com cera para ser prensada; B) Equipamento para prensar material.....	30
Figura 15: Mapa geológico da bacia.....	34
Figura 16: A) Fragmentos de rochas basálticas, nas proximidades do córrego Bom Sucesso, lado esquerdo médio da bacia; B) Rochas com esfoliação esferoidal, decorrente de fraturamento e processos intemperísticos superficiais, corte de estrada no médio da bacia; C) Matacões de basalto em relevo encosta com declive acentuado, parte superior da escarpa, lado direito da bacia; D) Basaltos da Fm. Serra Geral, expostos na margem direita do córrego Bom Sucesso, entre o córrego do Açude e a montante do lago.....	35
Figura 17: A) Afloramento de arenitos da Fm. Botucatu; B) Exposição de colúvio arenoso na área de transição das formações Serra Geral e Botucatu.....	36
Figura 18: Classificação dos elementos de drenagem.....	37
Figura 19: A) Córrego Bom Sucesso com margens protegidas por vegetação, entre os córregos da Vertente Comprida e do Poção; B) Queda d’água no córrego Bom Sucesso sobre basalto acima da montante do lago.....	38
Figura 20: Mapa geomorfológico da bacia.....	39
Figura 21: Mapa altimétrico da bacia.....	40
Figura 22: Mapa de declividade da área de estudos.....	41
Figura 23: A) Vista do médio/alto do curso do córrego Bom Sucesso; B) Vista da escarpa à direita do lago Bonsucesso.....	42
Figura 24: Mapa de solos da bacia.....	43
Figura 25: A) LEd1 solos argilosos e espessos; B) AQd solos arenosos e inconsolidados.....	43
Figura 26: Mapa de uso do solo da área de estudos.....	44
Figura 27: A) Resultados do avanço da lavoura mecanizada ocupando espaço da vegetação nativa; B) Áreas de pastagem para criação de animais, na margem esquerda do córrego Bom Sucesso.....	45
Figura 28: A e B) Áreas nas margens do lago pisoteadas por animais, sujeitas à remoção de partículas.....	46
Figura 29: Mapa de classes de fragilidade com base nos tipos de solos.....	47
Figura 30: Mapa de classes de fragilidade com base na declividade terreno.....	47
Figura 31: Mapa de Fragilidade Potencial Erosivo.....	48
Figura 32: Mapa de classes de fragilidade devido ao uso do solo.....	49
Figura 33: Mapa de Fragilidade Emergente.....	50
Figura 34: Localização dos locais de coleta de sedimentos de fundo.....	51
Figura 35: Resultados das análises granulométricas, segundo classificação de Shermard.....	53
Figura 36: Diagrama dos resultados granulométricas.....	53
Figura 37: Distribuição de areias de pelitos no lago.....	54
Figura 38: Resultados de análises granulométricas, de acordo com o diâmetro médio.....	54
Figura 39: Mapa dos resultados granulométricos, de acordo com diâmetro médio.....	55
Figura 40: Diagrama com resultado do grau de seleção.....	56

Figura 41: Mapa dos resultados granulométricos, de acordo com a seleção.....	56
Figura 42: Diagrama dos resultados granulométricos, de acordo com a assimetria.....	57
Figura 43: Mapa dos resultados granulométricos, de acordo com a assimetria.....	58
Figura 44: Mapa e pontos de coletas de solos nas proximidades do lago.....	59
Figura 45: A), B), C) e D) Difrátogramas de raios X de sedimentos da fração silte-argiloso.....	61
Figura 46: A) Partículas de areia em matriz argilosa; B) Partícula composta por argilominerais aglutinados por óxidos/hidróxidos de ferro. ....	62
Figura 47: Seções batimétricas realizadas nesta pesquisa.....	63
Figura 48: Modelo topográfico do fundo do lago.....	63
Figura 49: Mapa de localização das seções topográficas obtidas por batimetria.....	64
Figura 50: Parte de montante da seção longitudinal AB.....	65
Figura 51: Parte de seção da jusante longitudinal AB.....	66
Figura 52: Parte da seção longitudinal CD a margem esquerda.....	68
Figura 53: Parte da seção longitudinal CD a margem direita.....	69
Figura 54: A) Vista da praia do <i>Thermas Clube Beach Park</i> ; B) feições de erosão provocado no período chuvoso na praia do referido clube.....	70
Figura 55: Seção transversal EF.....	70
Figura 56: Feições de erosão do período chuvoso e afloramento do aquífero freático, entre a praia da Torre e a jusante.....	71
Figura 57: Seção transversal GH.....	71
Figura 58: Seção transversal IJ.....	72
Figura 59: A) Praia, canal e ilha do Pequi; B) Remoção de partículas de margem provocados por embarcação.....	73
Figura 60: Seção transversal LM.....	74
Figura 61: Pisoteio do gado na margem, sujeito remoção de partículas.....	74
Figura 62: Seção transversal NO.....	75
Figura 63: Distribuição dos depósitos de assoreamento do lago, com base nas espessuras das medidas dos perfis verticais.....	76
Figura 64: Mapa de distribuição dos depósitos de assoreamento, segundo a granulação obtida nas análises dos perfis verticais.....	77
Figura 65: Água do lago com cor vermelho-amarelada.....	78
Figura 66: A) Remoção de solos para evitar o escoamento de água das chuvas; B) Nivelamento do terreno da praia da Torre por máquinas.....	79
Figura 67: A e B) Feições de erosão do tipo cone (pequenos deltas) formadas na praia do Pequi....	79
Figura 68: Tipos de processos erosivos identificados nas margens do lago Bonsucesso.....	80
Figura 69: A) Pessoas na praia e ilha do Pequi para dia de lazer; B) Veículos estacionados na praia do Pequi.....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Granulação, profundidade de coleta e tempo utilizados na pipetagem.....	27
Tabela 2: Parâmetros e distribuição em classes granulométricas das amostras coletas com draga.	52
Tabela 3: Classes granulométricas obtidos das análises granulométricas de solos.....	58
Tabela 4: Percentagem dos compostos químicos em cada amostra analisada.....	60
Tabela 5: Espessura dos materiais amostrados em perfis verticais.....	76

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais fatores envolvidos na erosão do solo pela água.....	14
Quadro 2: Graus de limitação por suscetibilidade à erosão.....	15
Quadro 3: Classes de uso do solo de acordo com as limitações ambientais.....	15
Quadro 4: Fases de um rio com as características hidráulico-sedimentológicas relacionado com o ciclo erosivo.....	17
Quadro 5: Fragilidade dos tipos de solos da .....	32
Quadro 6: Fragilidade das classes dos níveis de declividade.....	32
Quadro 7: Fragilidade das classes de uso e ocupação do terreno.....	33
Quadro 8: Parâmetros morfométricos calculados para a bacia do lago Bonsucesso.....	38
Quadro 9: Classificação do uso do solo da área de estudos.....	45
Quadro10: Classes de Fragilidade Potencial Erosivo e percentagem na área de estudos.....	48
Quadro 11: Classes de Fragilidade Emergente e percentagem na área de estudos.....	50

Quadro 12: Escala verbal para grau de seleção de sedimentos.....	55
Quadro 13: Escala verbal do grau de assimetria dos sedimentos.....	57
Quadro 14: Composição cristalográfica das análises de fluorescência de raios X.....	60
Quadro 15: Siglas utilizadas para descrição dos sedimentos de fundo do lago Bonsucesso.....	62
Quadro 16: Critérios utilizados na descrição visual dos perfis verticais.....	62

## RESUMO

A pesquisa teve como objetivo avaliar o assoreamento do lago Bonsucesso, mediante estudos da caracterização do material depositado, sua distribuição e avaliação da provável procedência, com análise de fragilidade ambiental da bacia para identificar áreas de maior potencial contribuição dos sedimentos. O lago possui espelho d'água de 74 ha, foi construído para lazer e recreação no ano 2000. Situa-se na bacia hidrográfica do córrego Bom Sucesso, com área de 147 km<sup>2</sup>. Localiza-se a 10 km da cidade de Jataí, Goiás, rumo à noroeste, no sentido de Caiapônia. Para caracterização dos sedimentos de fundo foram realizadas campanhas de coleta, com amostradores draga de Peterson e "CLS" (*piston core*). As amostras foram analisadas pelo método de peneiramento e pipetagem; e descrição visual dos perfis verticais. A topografia do fundo do lago atual foi obtida por levantamentos batimétricos. Para avaliação dos processos erosivos e prováveis áreas-fonte de material, foram confeccionados mapas de fragilidades "potencial erosivo" e "emergente" da bacia. Verificou-se pelos resultados da distribuição granulométrica dos depósitos, que o diâmetro médio predominante é silte. 44% do material é pobremente selecionado e 40% muito pobremente selecionado. Das 38 amostras, 82% dos sedimentos possuem curva granulométrica com desvio da normalidade, com assimetria muito negativa em 61%. Pelas imagens de sedimentos finos obtidas com MEV identificou-se aglutinações argila por óxidos/hidróxidos de ferro atribuídas a processos pedogenéticos (laterização) atuantes nas áreas-fonte, o que explica o teor elevado de silte nos sedimentos. Pelos dados batimétricos, a profundidade do reservatório varia de dois a oito metros, da montante a barragem. Os tipos erosão identificados foram: em sulcos, por impactos de ondas, por enxurradas, por afloramento do aquífero freático. Verificou-se que os depósitos de assoreamento predominantes na parte montante do lago Bonsucesso são pelitos (silte e argila), acumulados com até 16 cm de espessura. No centro e próximo da barragem, as áreas-fonte destes sedimentos são de alteração de basaltos que predominam na bacia, com contribuição das erosões de margens. Os depósitos de assoreamento de areia com até 30 cm de espessura, predominam próximo da ilha e praia do Pequi, menos espesso na praia da Torre e do clube *Thermas Beach Park*, sedimentos provenientes de erosão atuantes nas praias. As análises da Fragilidade Potencial Erosivo da bacia indicaram graus muito baixo e baixo em quase toda a área, e média em solo arenoso, onde há pastagem como proteção vegetal, que possibilita maior risco de erosão. Na Fragilidade Emergente, registrou-se as classes média e alta em 69% da área, sobretudo devido à interferência antrópica. Estima-se que o volume de assoreamento do lago em 5 anos de existência é de 38 mil metros cúbicos, com taxa média máxima de espessura nos depósitos arenosos com 6 cm/ano nas proximidades da ilha e praia do Pequi, e média mínima de 1 cm/ano ao centro e jusante de sedimentos finos. As áreas de maior assoreamento são de areias nas praias, foram observados pontos do estreitamento do lago, devido os processos erosivos. Medidas de controle e mitigação do assoreamento, para aumentar a vida útil do lago, podem ser tomadas a partir de estudos dos problemas, planejamento e monitoramento.

Palavras-chave: assoreamento, Sedimentologia, fragilidade ambiental, erosão, Bonsucesso, lago.

## ABSTRACT

The research had as aim evaluate the silting of Bonsucesso lake, by means of studies regarding to deposited material characterization, its distribution and evaluation of probable material proceeding, with analysis of the microbasin environment fragility in order to identify areas of bigger sediments contribution potencial. The lake has water sheet of 74 ha and was constructed to leisure and recreation in the 2000 year. It locates in the Bom Sucesso drainage microbasin, with area of 147 km<sup>2</sup>. It localizes 10 km from Jataí city, Goiás State, toward northeastern, in Caiapônia direction. To characterization of bottom sediments, had been realized two campaigns to collect bottom sediments, using Peterson's and "CLS" (*piston core*) drag sampling. The samples had been analysed by its granulometry; and visual description of vertical profiling. The topographic data to characterize the currently lake bottom morphology were obtained by batimetric survey. To evaluate the erosive process and probable source-areas of material contribution, had been done "erosive potential" and "emergent" fragility maps of the microbasin. The results of granulometric distribution of the deposits indicate that the predominant medium diameter is silt. 44% of analyzed material is poorly selected, and 40% very poorly selected. From 38 samples, 82% of the sediments have granulometric curve with normality deviation and very negative asymmetry in 61%. The fine sediments images obtained from MEV had been used to identify Fe oxides/hydroxides agglutinations, attributed to pedogenetic process (laterization) operating in the source-areas, which explains the high silt content in the sediments. Through batimetric survey, the reservoir deepness varies from two to eight meters, from upstream to the dam. It had been identified erosion types such as: ridges, wave impacts, by torrents, freatic aquifer exposure. It had been verified that the predominant silting deposits in Bonsucesso lake are pelites (silt and clay), accumulated with even 16 cm thickness. In the center and nearby the dam, the source-areas of these sediments are derived from basalts alteration, which predominates in the microbasin, along margin erosion contribution. The sand silting deposits with even 30 cm thickness predominate nearby Pequi island and beach, and less thickness in Torre beach and Thermas Beach Park club. These deposits are derived from beach erosion. The basin Erosive Potential Fragility analysis indicated very low and low degrees in almost all area, and medium in the sandy soil, with pasture as vegetal protection, makes possible a bigger risk of erosion. The Emergent Fragility registered medium to high fragility in 69% of the area, over all due to anthropic interference. It is estimate that the lake silting rate in five years will be 38.000 m<sup>3</sup>, with thickness in maximum average in sand deposits between 6 cm/year in the island and Pequi beach proximities, and minimum average of 1 cm/year in the center and downstream of fine sediments. The bigger silting areas are beach sands. It had been observed points with narrowing of the lake, due to erosive process. Control measurements and mitigation of the silting, in order to increase lake's useful life, might be taken from problems studies, planning and monitoring.

Key-words: silting, Sedimentogy, environmental fragility, erosion, Bonsucesso, lake.

## 1 INTRODUÇÃO

As necessidades de consumo da sociedade fazem com que os recursos naturais sejam cada vez mais explorados. As modificações realizadas sem o devido cuidado com as aptidões e limitações ambientais têm gerado grandes desequilíbrios nos ecossistemas.

Um dos recursos naturais bastante explorados no Brasil são os cursos d'água para construção de barragens, com a finalidade de formar reservatórios e lagos, para atender diversas necessidades, tais como: geração de energia elétrica, irrigação, abastecimento de água, e ou/recreação.

Em todo território brasileiro, o potencial elétrico é gerado por aproveitamento hidrelétrico, setor que atualmente enfrenta uma grande crise, por razão das hidrelétricas em operação funcionarem com seus reservatórios no limite de água.

Com a finalidade de suprir demanda crescente de energia elétrica, pequenas centrais hidrelétricas (PCH) estão em fase de construção, além de projetos para outras em vários rios do país. Tais reservatórios, além do seu potencial energético serão também utilizados como áreas de lazer para a população.

Existem poucos trabalhos referentes ao estudo da vida útil de reservatórios no país. Somente a partir da década de 80 foi dado maior enfoque a este problema ambiental. Diversos corpos d'águas se encontram total ou parcialmente assoreados, principalmente dentre os reservatórios de médio e pequeno porte. Este tipo de problema ambiental se deve ao fato de não se considerar previamente o potencial erosivo das bacias e bacias hidrográficas, bem como os estudos a respeito da vida útil destes reservatórios.

O assoreamento é um dos motivos da perda da capacidade de geração de energia hidrelétrica. É causado, principalmente por processos erosivos na bacia hidrográfica, acelerados pela interferência antrópica. Pois é nestes locais que se concentram um dos maiores problemas ambientais, sobretudo, pela prática intensiva agropastoril. A ação humana faz com que a degradação dos recursos naturais, principalmente do solo e da água, aumente a cada dia. Hoje atinge níveis preocupantes que se refletem na deterioração notável do meio natural.

Neste sentido, os estudos do assoreamento do lago Bonsucesso, justificam-se como subsídio ao planejamento adequado de futuras obras regionais, sobretudo devido à previsão da construção de outros pequenos e médios reservatórios, pela abundância de drenagens, em diversas partes do sudoeste do estado de Goiás. A pesquisa visou

caracterizar os depósitos do reservatório e discutir suas fontes na bacia hidrográfica, para compreender os processos de assoreamento.

Para avaliar este tipo de degradação ambiental, segundo Ponçano *et al.* (1981), as medidas corretivas e preventivas do assoreamento requerem estudos específicos, considerando-se a dinâmica sedimentar, desde as áreas-fonte até as áreas de deposição. Essas pesquisas devem incluir estudos diretos, por exemplo: amostragem de depósitos de fundo com draga e *piston core* e indiretos, tais como levantamentos geofísicos. Ensaio laboratoriais devem complementar a caracterização dos depósitos.

Outro fator relevante levado em consideração são as fragilidades do meio físico, de suma importância para um planejamento ambiental sustentável. A caracterização dos ambientes naturais, suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam melhor estimativa das potencialidades erosivas em cada bacia.

## **1.1 Objetivo geral**

A pesquisa teve como objetivo avaliar o estado de assoreamento do lago Bonsucesso, mediante estudos da caracterização do material depositado, sua distribuição e avaliação da provável procedência do material.

## **1.2 Objetivos específicos**

Foram definidos os seguintes objetivos específicos:

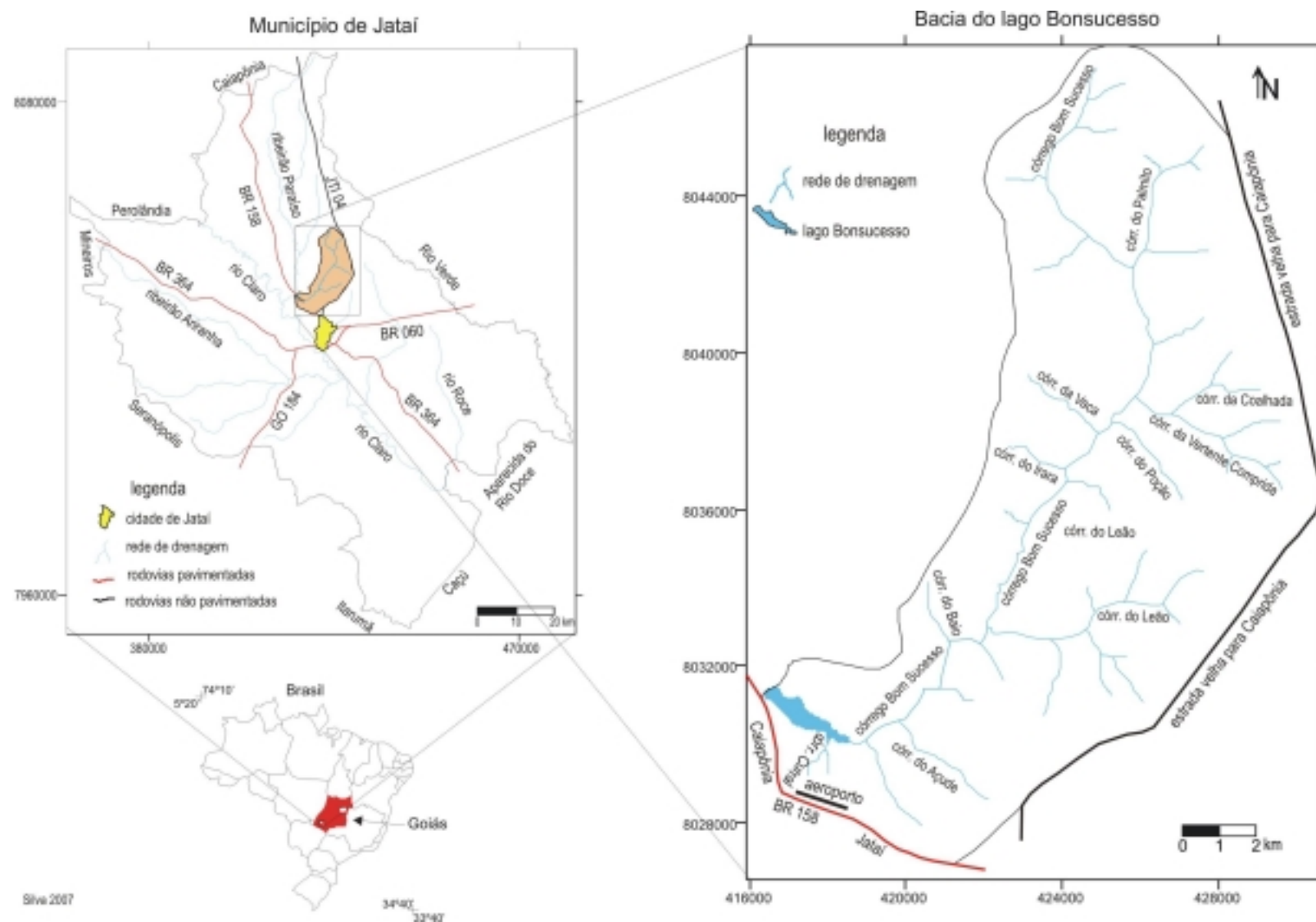
- a) caracterizar a composição granulométrica dos sedimentos de fundo do lago;
- b) avaliar os processos de sedimentação no lago, determinando as áreas de maior aporte e sedimentação;
- c) analisar os processos erosivos atuantes na bacia hidrográfica para identificar as áreas-fonte potenciais de material.

## **1.3 Localização da área de estudos**

O lago Bonsucesso e seu complexo turístico está localizado à direita da BR 158, a 10 km da cidade de Jataí, rumo ao noroeste, no sentido de Caiapônia. A barragem situa-se pouco acima do encontro do córrego Bom Sucesso com Ribeirão Paraíso (figura 1).

A área de estudos corresponde a bacia do lago Bonsucesso, que abrange cerca de 147 km<sup>2</sup>. Localiza-se entre as coordenadas de 416351 m a 430610 m de latitude Leste e 8026938 m a 8047852 m de longitude Norte do fuso UTM na folha de Jataí (SE-22-V-D-V-3-NE).





**Figura 1:** Mapa de localização da área de estudos, principais vias e referências geográficas.

O município de Jataí situa-se no sudoeste de Goiás. Faz limites com os municípios de Caiapônia ao norte, Rio Verde a leste, Aparecida do Rio Doce ao sudeste; Caçú e Itarumã ao sul, Serranópolis a sudoeste, Mineiros ao oeste e Perolândia a noroeste. A cidade de Jataí fica à distância de 327 km de Goiânia, capital do estado. O acesso a Jataí se faz pelas rodovias federais BR 060 (Brasília a Jataí), BR 364 (São Simão/GO a Cuiabá/MT), BR 158 (Jataí a Aragarças/GO), e a estadual GO 184 (Jataí Serranópolis/GO).

#### **1.4 O histórico do lago Bonsucesso e a problemática ambiental**

O lago Bonsucesso (figura 2) é considerado de pequeno porte. Possui cerca 74 hectares de espelho d'água, com aproximadamente de 2.300 metros de extensão. O lago tem cerca de 600 metros na parte mais larga do reservatório, e varia de dois metros de profundidade, em média, na parte mais à montante, a oito metros nas proximidades da barragem. O reservatório é abastecido pelo córrego Bom Sucesso, que percorre toda bacia.



**Figura 2:** Vista aérea, de jusante para montante, do lago Bonsucesso no ano 2001. (Autor desconhecido).

O lago Bonsucesso faz parte do Complexo Turístico Vale do Paraíso. Foi construído no ano 2000 pela prefeitura de Jataí, com objetivo de oferecer lazer para a

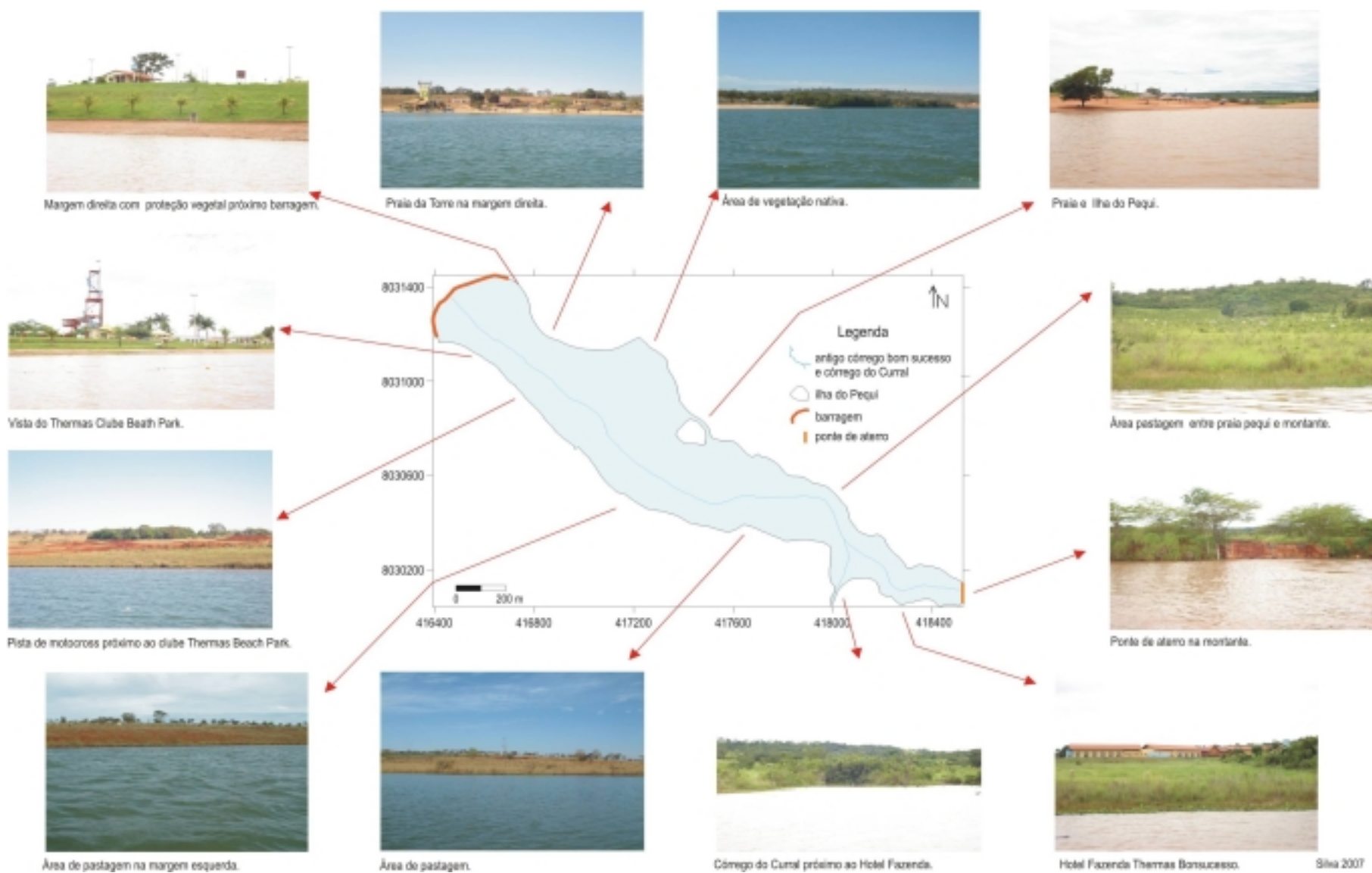
população local e aos turistas, assim como desenvolver o turismo na região. A margem esquerda do lago está sendo intensamente ocupada por empreendimentos imobiliários, como a obra de um hotel fazenda, loteamento para casas de recreio e um clube de recreio com águas termais.

O uso do terreno na margem esquerda do reservatório (figura 3) constitui-se de empreendimentos imobiliários como o clube *Thermas Beach Park*, que capta águas com até 40°C no primeiro poço perfurado, na década de 1970 pela Petrobrás. Mais a montante, na margem esquerda do lago, localiza-se o Hotel Fazenda Thermas Bonsucesso Ltda, uma obra de alto custo, prevista para ser inaugurada em 2007.

Na margem direita há uma pista de aeromodelismos, duas praias públicas - do Pequi e da Torre - utilizadas para praticar esportes e banho, passeios de embarcações, pistas para ciclismo, pescaria, dentre outros.

Em 2001 a barragem rompeu-se, após uma precipitação torrencial no período chuvoso, por não suportar o grande volume d'água. Desde a sua construção em 2000 até hoje, o reservatório apresentou vários problemas, dentre eles o assoreamento devido a processos erosivos provocados principalmente por falta de um gerenciamento do uso dos terrenos nas proximidades do lago. São visíveis várias feições erosivas. É notável o avanço da borda do lago para o interior do mesmo, principalmente nas praias do Pequi e da Torre.

Na margem direita predomina substrato da alteração das rochas areníticas (Areias Quartzosas). O solo arenoso sem cobertura vegetal possibilita a remoção das partículas arenosas e sua deposição no lago.



## 2 CONCEITOS E NOMENCLATURA ADOTADA

### 2.1 Processos erosivos

A erosão é um fenômeno natural, em que a superfície terrestre sofre desgaste e se afeiçoa por ação de processos físicos, químicos e biológicos (Suguio 2003).

Além dos agentes naturais de intemperismo, as atividades humanas podem influenciar nas causas da erosão de forma expressiva, pelo desmatamento, abertura de estradas e modificações do regime de fluxo de água natural, como em barragens.

Salomão (1991) classifica os processos erosivos em *erosão natural* e *antrópica*. A primeira é a somatória dos resultados da influência dos agentes naturais que atuam na remoção de materiais da crosta, destacando-se a água corrente (incluindo-se escoamento da água da chuva). A segunda é a erosão *antrópica*, aquela em que a desagregação dos materiais, principalmente do solo, se dá em consequência da intervenção humana no meio físico.

#### 2.1.1 Tipos de erosão

A erosão pode ser provocada por vários agentes, sem a interferência antrópica, tais como as águas pluviais e fluviais (erosão hídrica), ventos (erosão eólica) e ondas (conjunto de vento e água).

A erosão hídrica é o tipo de erosão mais importante e preocupante, pois desagrega e transporta o material erodido com grande facilidade, principalmente em regiões de clima úmido, onde seus resultados são mais drásticos.

O impacto de gotas de chuvas no solo provoca um tipo de erosão, quando este está desprovido de vegetação. Neste processo as partículas são desagregadas e tornam-se facilmente transportáveis pelas enxurradas.

A erosão por desabamento tem sua principal incidência em terrenos arenosos. Os sulcos deixados pelo escoamento da água de chuva provocam remoção de partículas, conseqüentemente o desmoronamento. Estes sulcos aumentam suas dimensões com o passar do tempo e formam as voçorocas. Este tipo de erosão origina-se da combinação de processos erosivos superficiais e subsuperficiais.

A erosão superficial laminar é a erosão do solo que atua diretamente na forma do terreno de diversas maneiras, depende da natureza do solo, da intensidade das precipitações e do tipo de cobertura vegetal. Uma das principais formas da erosão por águas pluviais é a desagregação das partículas do solo e seus arraste por escoamento superficial difuso (laminar).

O impacto das gotas de chuva tende a romper os agregados em partículas menores, capazes de ser arrastadas pelo escoamento em superfície (Bigarella & Mazuchowski 1985). Nos terrenos descobertos, principalmente em declive, as chuvas intensas provocam um grande movimento nas partículas ladeira abaixo. As gotas de chuva ao caírem sobre finas lâminas de água removem partículas do terreno, fazendo com que este líquido torne-se argiloso. As partículas de solo são removidas por filetes interligados, que às vezes não deixam marcas perceptíveis na área.

Os canais e ravinas são formados pelo escoamento das águas das chuvas no terreno. Apresentam sulcos sinuosos ao longo dos declives. A erosão laminar pode evoluir para erosão em sulcos, embora não necessariamente uma tenha se iniciado em virtude da outra. Vários fatores influenciam para o seu surgimento. Um deles é a exposição do solo, por exemplo, após aração do terreno em declive para cultivo.

A erosão eólica consiste no transporte aéreo ou por rolamento das partículas removidas do solo por ação do vento. Sua importância é grande onde são comuns ventos fortes. Um dos principais danos por este tipo de erosão é o soterramento de solos férteis. Os materiais transportados mesmo de longas distâncias sedimentam-se encobrindo camadas férteis.

A erosão causada por ondas é formada pela ação conjunta de vento e água. Seus efeitos são notados em ambientes lacustres, litorâneos e margens de rio. O choque de fluxo e refluxo das águas nas margens provoca a desagregação de partículas. Estas partículas permanecem suspensas temporariamente e são depositadas mais tarde no fundo dos lagos, reservatórios, rios e oceanos.

### 2.1.2 Escoamento hídrico

A capacidade de infiltração da água constitui fator de considerável importância na erosão e de instabilidade dos solos e rochas. Nos solos arenosos as águas penetram mais rapidamente. Em terrenos argilosos, sobretudo os bem compactados, a água não infiltra com facilidade. Em razão disto, neste último caso, ocorre maior volume de escoamento superficial (*run-off*), aumentando a probabilidade de remoção de material do terreno.

O solo mais resistente à erosão é aquele que apresenta o máximo de coerência entre as partículas e o máximo de taxa de infiltração. Assim, as principais características dos solos relacionadas com a erodibilidade são: a textura (proporção relativa das frações granulométricas que compõe a massa do solo) e a estrutura (agregação das partículas primárias do solo em unidades estruturais compostas). Por

exemplo, em solos arenosos de estrutura pequena e muito pequena (areia média a fina), os pequenos grânulos apresentam baixa coerência (coesão) entre si, e são facilmente transportados devido ao fato de ter densidade menor. Ao contrário do que acontece com os solos argilosos, a estruturação destes aumenta sua resistência à dispersão e ao transporte, devido à alta coesão entre as partículas.

O processo erosivo por escoamento hídrico promove a remoção do material da superfície do terreno. Este pode ocorrer de forma quase imperceptível, ou ainda manifestar-se como sulcos, formados em decorrência da concentração de pequenos canais de escoamento. Os sulcos, de acordo com o tipo de solo, podem evoluir para ravinas e até mesmo voçorocas.

Segundo Guerra (1998), em áreas agrícolas o escoamento superficial pode ser mais acentuado, devido ao remanejamento de partes do subsolo no preparo do terreno para a agricultura. Isto pode gerar impacto, como a diminuição da espessura da camada superficial original do solo, o empobrecimento das áreas agrícolas e diminuição nos teores de matéria orgânica. Aumentos nas taxas de escoamento superficial podem, por sua vez, ocasionar aumentos nos fluxos de água, tanto nas áreas drenadas como nos canais fluviais, além de proporcionarem condições favoráveis para a elevação das taxas de produção de sedimentos nas bacias em casos de chuvas constantes.

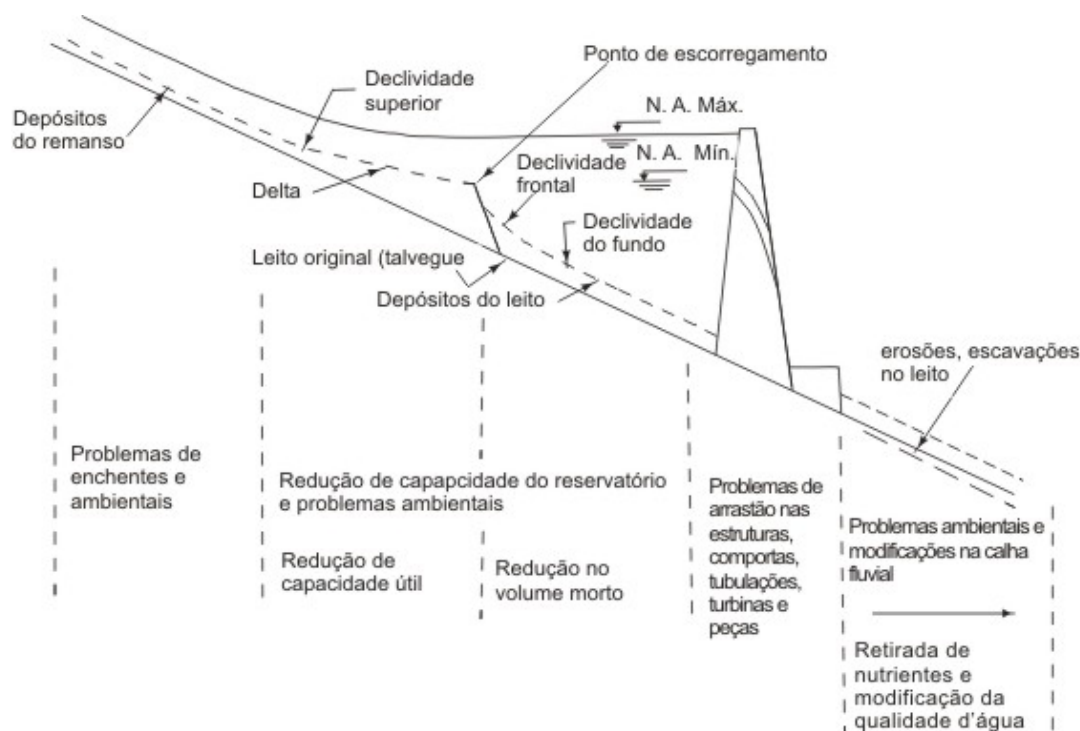
### 2.1.3 Depósitos sedimentares em reservatórios

Naturalmente, os cursos d'água apresentam capacidade de transporte de material. Mas quando é construída uma barragem, tal capacidade se altera a partir da área do remanso do reservatório. O fluxo de material particulado, ao encontrar águas com menor velocidade, perde a capacidade de transporte e passa a depositar sua carga. O processo inicia pelas frações de maior diâmetro como seixos e areia grossa. Posteriormente, a areia fina e silte grosso vão se depositar. As partículas menores como silte fino e argila, adentram o lago em suspensão. O sistema lacustre criado constitui um eficiente meio de retenção de sedimentos, assim impede a passagem da maior parte do material particulado para jusante.

O assoreamento é dos problemas principais no prolongamento do efeito de remanso, com conseqüente elevação de níveis de enchente a montante, devido à deposição de material mais grosso na entrada do lago, uma vez que o prolongamento de remanso implica na perda efetiva da capacidade útil (Lopes 1993).



Vários problemas surgem após o fechamento da barragem de um reservatório. A figura 4 mostra os depósitos formados e problemas decorrentes dos desequilíbrios que afetam o curso d'água, tanto a montante quanto a jusante de uma barragem.



**Figura 4:** Depósitos de sedimentos formados nos reservatórios e principais problemas decorrentes (fonte: Carvalho 1994).

De acordo com Ramos (1999), o material transportado em suspensão, ao adentrar o reservatório podem se depositar, dependendo do tempo de residência da água ou de fatores de natureza físico-química que possam favorecer a decantação. A argila, fração mais fina, pode manter-se em suspensão por mais tempo, em forma de suspensão coloidal, e ultrapassar os limites do barramento, não chegando a assorear o lago.

### 2.1.3.1 Tipos de depósitos sedimentares em reservatórios

Além das modificações físicas, os sedimentos depositados no fundo do lago produzem alterações da fauna e flora do leito (Carvalho 1994). A água que escoar para a jusante da barragem provoca modificações na fauna e na flora, entre a parte da montante e a barragem, com reflexos ambientais em todo o curso d'água.

Quando as características hidráulicas do trecho anterior e posterior também à barragem artificial de um lago ou reservatório são alteradas pela construção. A velocidade decrescente da corrente fluvial faz com que as partículas de maior tamanho,



como seixos, grânulos e areias grossas se depositem mais próximas da entrada do reservatório. As frações de menor diâmetro, dependendo da energia e da viscosidade do meio, que exercem papel relevante durante o transporte, serão depositadas no trecho inferior do reservatório ou permanecerão em suspensão (Carvalho 2000).

Os depósitos de remanso constituem material depositado na região de menor velocidade de escoamento do reservatório e posiciona-se acima do nível de água represado junto à barragem. Quando o nível de água do reservatório decresce, uma parte do material depositado em remanso pode ser removido e transportado para interior do ambiente lacustre.

Os depósitos deltaicos podem ser constituídos totalmente de sedimentos da fração do tamanho dos grânulos e areias ou também podem conter um grande volume de sedimentos de diâmetros menores, como silte. Este tipo de depósito tem uma grande parcela de partículas que se movem por arraste e pequena fração de materiais em suspensão. Quanto menor a velocidade do fluxo e menor tamanho das partículas, mais para o interior do reservatório a deposição se processa.

## **2.2 Assoreamento de lagos e reservatórios**

O estudo da erosão, do transporte de partículas nos cursos d'água e a deposição desses materiais são essenciais para determinar a vida útil de reservatório em processo de assoreamento. Avalia-se a fonte dos sedimentos estudando a fragilidade do terreno, assim como o tipo de material depositado.

Pesquisas relacionadas a assoreamento de lagos e reservatórios foram publicadas com maior frequência na literatura internacional a partir do início da década de 1930. No Brasil os estudos desenvolvidos com maior enfoque no problema de assoreamento, surgiram no final dos anos de 1970/começo dos anos 1980 (Ponçano *et al.* 1981, Gimenez *et al.* 1981 e Carlstron Filho *et al.* 1981). Neles são apresentados métodos de análise de assoreamento de reservatórios aplicados em estudos desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo, nos reservatórios de Capivari (PR), Passo Real e Ernestina (RS).

À medida que a deposição de sedimentos aumenta, a capacidade de armazenamento do reservatório diminui. A influência do remanso aumenta para montante. As velocidades no lago aumentam e maior quantidade de sedimentos passa a escoar para jusante. A eficiência de retenção das partículas diminui. Assim, a evolução do fundo do reservatório interfere na geometria do reservatório, e tamanho do material depositado (Morris & Fan 1997).

## **2.3 Levantamentos batimétricos**

O princípio fundamental de funcionamento de um ecobatímetro consiste em que um feixe de ondas sonoras seja emitido verticalmente por um dispositivo instalado na embarcação. O feixe atravessa o meio líquido e atinge o fundo submerso, reflete e retorna para à superfície, onde é captado por um receptor.

A batimetria serve para posterior geração de um modelo topográfico do relevo, da superfície do terreno submerso. Para que o modelo de terreno seja mais fiel à realidade, é essencial que o levantamento batimétrico atinja a maior área possível.

No levantamento batimétrico realizam-se medições de profundidades do fundo de corpos d'água, visando entre outras, a representação destas áreas em uma carta. As profundidades são de extrema importância para que se possam representar as linhas isobáticas, as quais permitirão a representação em cartas da topografia submersa. Diversos instrumentos podem ser empregados na medição de profundidades, dentre eles: o prumo de mão, a máquina de sondar, as estádias e os ecobatímetros (Krueger *et al.* 2003).

O monitoramento sistemático de lagos por perfis batimétricos com ecobatímetro no Brasil é relativamente recente.

## **2.4 Difratometria e fluorescência de raios X de argilominerais**

### **2.4.1 Princípios da difração de raios X**

Os raios X ao atravessarem um cristal são dispersos pelos elétrons dos átomos, sem mudança de comprimento de ondas eletromagnéticas. As difrações resultantes compreendem posições e intensidades características das linhas de difração, que é uma propriedade física fundamental da substância, servindo não só à identificação como também ao estudo de sua estrutura.

### **2.4.2 Técnica da fluorescência de raios X**

A utilização de técnicas diversas de excitação possibilita aos elementos químicos em geral a emissão de luz na região do espectro eletromagnético correspondente aos de raios X. Em condições adequadas, as radiações produzidas podem ser utilizadas para fins de identificação e estimativa de concentrações de elementos em amostras de minerais e rochas.

Os grandes avanços tecnológicos ocorridos nas duas últimas décadas tornaram a técnica de análise de raios X um importante recurso de análise geoquímica de minerais e rochas, com diversas vantagens, como: simplicidade do espectro gerado,

comportamento previsível dos elementos, precisão, reprodutividade boa, o valor de limite de sensibilidade baixo (da ordem de partes por milhão), ampla capacidade de detecção (cobre um número considerável de elementos em concentrações que variam de algumas partes por milhão a 100%), grande versatilidade analítica (amostras na forma líquida, fragmentos ou sob forma de pó) e caráter não destrutivo, que fazem da fluorescência um método analítico universal (Dutra & Gomes 1984).

### 2.4.3 Argilominerais

Uma das grandes aplicações da difração de raios X consiste na identificação de argilominerais. Os argilominerais são em geral de granulação inferior a 2 microns. Nesse sentido o pesquisador lança mão de métodos de maior capacidade de ampliação, como a difração de raios X e microscopia eletrônica.

## 2.5 Erosão em bacias hidrográficas e deposição em reservatório

Bacias são unidades sistêmicas que permitem a identificação e o conhecimento das inter-relações dos fluxos de energia e dos demais fatores envolvidos no processo produtivo, com vistas a compatibilizar as atividades humanas com a preservação ambiental.

A delimitação da área de estudos é determinada por uma rede de drenagem dos principais canais fluviais de fluxo permanente contendo os afluentes do rio com maior expressão regional. Esta forma de delimitar a bacia hidrográfica é usada principalmente quando o enfoque estiver relacionado a projetos conservacionistas, execução de programas de controle de erosão do solo e preservação de recursos hídricos. A bacia hidrográfica vem sendo adotada como unidade de trabalho preferencial para o planejamento conservacionista e para a execução de programas de controle de erosão do solo e preservação de recursos hídricos (Sparovek *et al.* 1999).

No Brasil, o estado de São Paulo foi um dos pioneiros no estudo de erosão em bacia hidrográfica, coordenado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) em parceria com Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e o Instituto de Pesquisa Espaciais (INPE). Segundo Stein *et al.* (2003) vários trabalhos foram realizados no estado paulista na escala de abordagem regional, visando discriminar áreas naturalmente favoráveis ao desenvolvimento de erosão e as variações dessa tendência em decorrência de interferência antrópica. O estudo pioneiro no estado revelou que a bacia do rio Santo Anastácio era a mais suscetível e comprometida por processos erosivos, conseqüentemente com maior impacto nos recursos hídricos.

Na bacia do rio Santo Anastácio elaborou-se inventário dos processos decorrentes do escoamento pluvial e dos depósitos de assoreamento associados, tanto nas áreas urbanas como rurais (Stein *et al.* 2003).

A erosão em uma bacia hidrográfica, como fenômeno natural, inicia-se pela ação das gotas de chuva chocando-se contra a superfície do solo sem proteção. Desenvolvem-se processos de destruição, em três etapas: desagregação das partículas do solo, separação das partículas e arraste dessas partículas sob forma de enxurrada (Paiva 1993).

O assoreamento de reservatórios está associado aos processos erosivos na medida em que consiste no destino final da quase totalidade dos sedimentos desagregados, removidos e transportados de áreas erodidas no interior de sua bacia vertente.

A quantidade de sedimentos que se deposita nos lagos e reservatórios, ou seja, a produção de sedimentos da bacia contribuinte, é determinada pela diferença entre o total de partículas desprendidas nas áreas-fonte e total de partículas depositadas ao longo da própria bacia vertente. A razão entre o volume de material produzido e o volume de material liberado para os corpos d'água é caracterizada como relação de liberação de sedimentos (Oliveira 1994).

### 2.5.1 A erodibilidade e a erosividade no processo da erosão

A erodibilidade é a característica do solo que corresponde a sua susceptibilidade à erosão. Pode ser definida como a quantidade de material que é removido por unidade de área quando os fatores determinantes da erosão permanecem constantes.

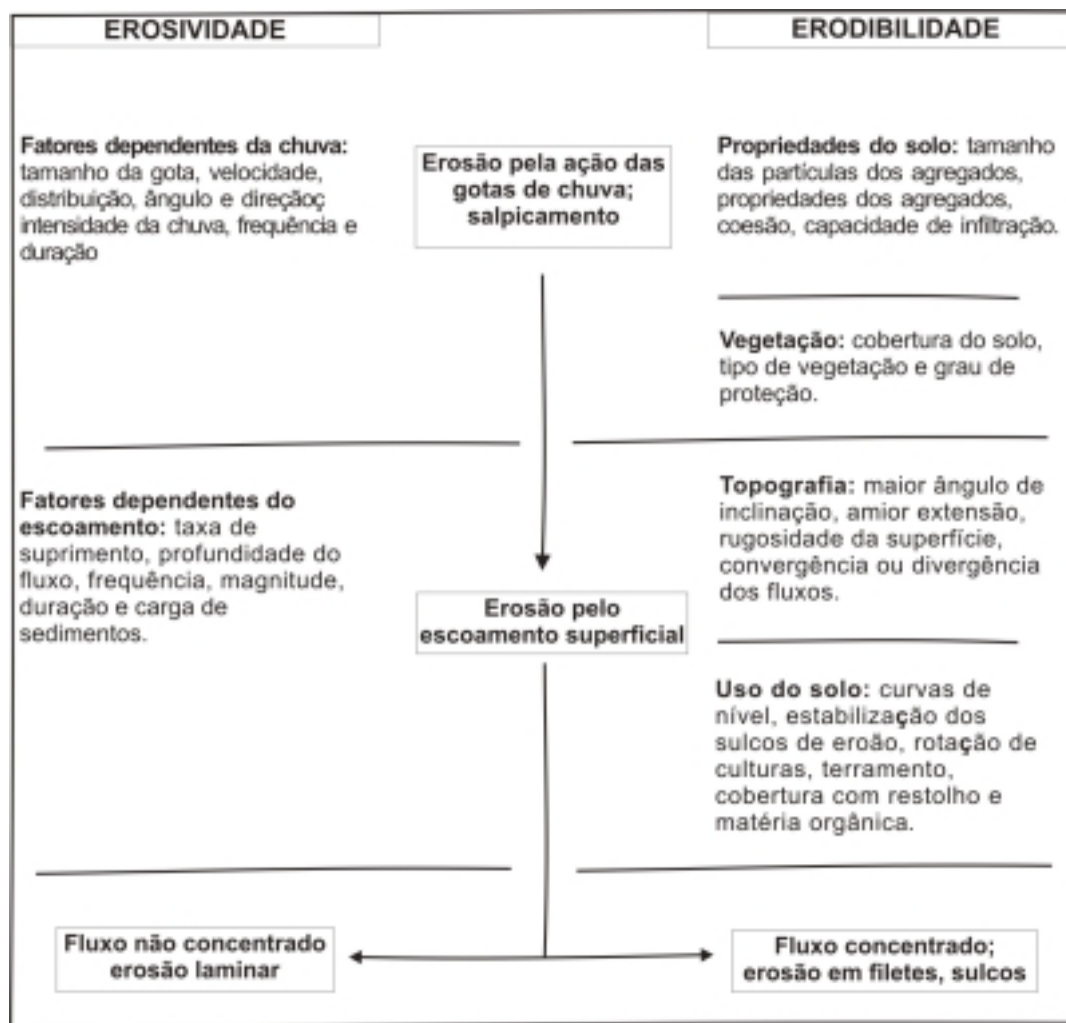
O potencial das chuvas em provocar erosão é denominado de erosividade. A ação da chuva no fenômeno de erosão depende de três características das precipitações: intensidade, quantidade e frequência. O quadro 1 apresenta os principais fatores envolvidos na erosão do solo pelas águas, a erosividade e a erodibilidade.

A erodibilidade varia segundo os grandes grupos de solos: solos superficiais, pedologicamente evoluídos, têm baixa erodibilidade. O horizonte "C", situado entre a rocha-matriz e os solos superficiais, são mais erodíveis que os primeiros. Os solos amolgados (deformados e compactados) têm erodibilidade condicionada à forma de compactação a qual foram submetidos (IPT 1993).

A taxa de erosão depende de muitos fatores, como: o clima (características das chuvas: total, distribuição e intensidade), o relevo, da forma e a natureza da vertente, o

tipo de solo (perfis edáficos), o tipo de cobertura vegetal e a ação antrópica na paisagem (Bigarella 2003).

**Quadro 1:** Principais fatores envolvidos na erosão do solo pela água (Fonte: Cooke & Doornkamp 1990 *apud* Bigarella 2003).



### 2.5.2 Suscetibilidade à erosão e classes de declividade

A suscetibilidade à erosão é uma característica, que estará sujeito à remoção de partículas, caso o solo esteja sem qualquer tipo de medida de conservação. Segundo Ramalho Filho & Beek (1995) influi na suscetibilidade à erosão por: a) falta de medidas conservadoras; b) fatores climáticos (especialmente do regime pluviométrico); c) propriedades do solo, tais como textura, estrutura, permeabilidade, profundidade, capacidade de retenção de água, presença ou ausência de camada compacta e pedregosidade; d) condições do relevo como declividade, extensão da pendente e micro relevo; e) cobertura vegetal.

No quadro 2 apresenta-se a classificação dos níveis de declividade de acordo com as formas de relevos e com os graus de limitação por suscetibilidade à erosão.

**Quadro 2:** Graus de limitação por suscetibilidade à erosão proposta por Ramalho Filho & Beek (1995).

classe de declive	Tipo de relevo	grau de limitação
0 a 3%	plano/praticamente plano	nulo (N) – solos não suscetíveis à erosão
3 a 8%	suave ondulado	ligeiro (L) – solos que apresentam pouca suscetibilidade à erosão
8 a 13%	moderadamente ondulado	moderado (M) – solos que apresentam moderada suscetibilidade à erosão
13 a 20%	Ondulado	forte (F) – solos que apresentam forte suscetibilidade à erosão
20 a 45%	forte ondulado	muito forte (MF) – solos com suscetibilidade maior que a do grau forte
>45%	montanhoso/escarpado	extremamente forte (EF) – solos que apresentam severa suscetibilidade à erosão

Lepsch *et al.* (1991) entendem que o uso intensivo do solo com agricultura de ciclo anual, como milho, soja, arroz etc., tende a expô-lo a maior risco de erosão e perda da produtividade, ao passo que, com menor intensidade de uso como manutenção da mata e outras formações vegetais naturais, o solo estaria mais protegido dos agentes erosivos. Baseados nessa premissa, Ramalho & Beek (1995) classificam as classes de uso em função das limitações ambientais existentes em determinada área (quadro 3).

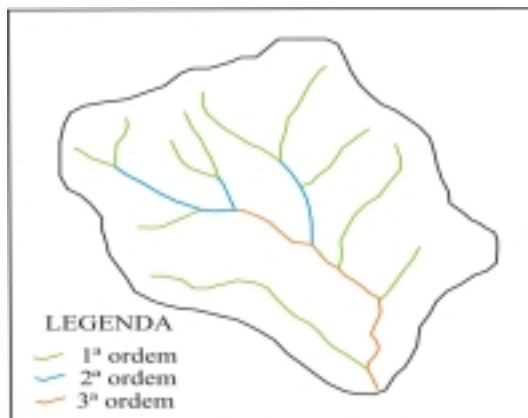
**Quadro 3:** Classes de uso do solo de acordo com as limitações ambientais, segundo Ramalho Filho & Beek (1995).

classes de uso	limitações ambientais
I	Não existe qualquer impedimento a qualquer tipo de uso agrícola, portanto, as áreas mapeadas com essa classe podem ser utilizadas no nível máximo.
II	Pode indicar, dependendo da subclasse, que serão necessárias ações de controle erosivo ou melhoria da fertilidade dos solos para essas áreas.
III	É mais restritiva que as anteriores e permitem o uso de agricultura, utilizando o padrão moderno de agricultura, desde que tomadas significativas medidas de prevenção e manejo para evitar depauperamento do solo e prejuízo de outros recursos naturais.
IV	Permite apenas agriculturas perenes, decorrentes dos riscos erosivos.
V	Não recomenda atividades agrícolas pelo risco de alagamento dos cultivos, por se situarem, de acordo com esta classe, em terrenos mal drenados.
VI	Como as condições ambientais são mais frágeis quanto à susceptibilidade à erosão e perda de potencial produtivo do solo, os usos vão ficando mais restritos. Nesta classe são permitidos apenas o pastoreio o reflorestamento e a manutenção da vegetação natural.
VII	Somente é indicada atividade de reflorestamento e manutenção da vegetação original.
VIII	A manutenção da vegetação original, portanto não permite outros usos pela extrema fragilidade do meio.

### 2.5.3 Rede de drenagem

A análise dos sistemas de drenagem fluvial sempre teve grande utilidade nos estudos da geomorfologia e rede hidrográfica (Christofolletti, 1980). A medição dos canais de drenagem e as análises quantitativas das características das bacias hidrográficas se denominam morfometria da bacia.

Os canais tributários são classificados como: de primeira ordem, os menores canais, sem tributários, estendendo-se desde a nascente até a primeira confluência; de segunda ordem são os que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem; os de terceira ordem originam-se da confluência de dois tributários de segunda ordem e podem receber os de segunda e primeira ordem; os de quarta ordem surgem na confluência de dois canais de terceira ordem, e podem também receber tributários das ordens inferiores (Strahler 1952; figura 5).



**Figura 5:** Ordem da rede de drenagem conforme classificação proposta por Strahler (1952).

Quanto aos padrões de drenagem, estes podem ser caracterizados em função de parâmetros morfométricos dos canais, como sinuosidade, grau de entrelaçamento e relação entre largura e profundidade (Suguio & Bigarella 1990). A forma dos canais de drenagem da bacia expressa freqüentemente esta interação: canais retilíneos, por exemplo, estão associados aos leitos de origem rochosa de alta resistência à erosão, podendo ser controlados por zonas fraturadas de origem tectônicas, como falhas ou fraturas.

Os canais entrelaçados caracterizam-se por apresentar grande volume de carga de fundo, com a divagação do talvegue de uma margem a outra, pontos de grandes e pequenas profundidades, nestes locais situam zonas de acumulação de sedimentos.

Os canais meandantes são encontrados com maior freqüência nas áreas úmidas cobertas por vegetação ciliar, formam curvas sinuosas, largas, harmoniosas e semelhantes entre si. Seu desenvolvimento ocorre em gradientes moderadamente baixos; fluxos contínuos e regulares; cargas em suspensão e de fundo em quantidades mais ou menos equivalentes. Nesses canais o padrão meandrante é característico de rios com gradiente moderadamente baixo (Suguio & Bigarella 1990).

A declividade das encostas também merece destaque no estudo de bacias hidrográficas. Em terrenos de declive acentuado o fluxo lateral pode formar canais por

onde a água escoar preferencialmente. Estes canais podem escoar água somente durante um evento de chuva ou durante algum tempo depois, e/ou cessam o escoamento tão logo a água infiltra no solo (curso influente). Outros canais, por sua vez, permanecem constantemente escoando água (curso efluente), a menos que, por algum motivo, o nível do aquífero freático venha a baixar fazendo que o canal fique acima da zona de saturação (Guerra 1998).

#### 2.5.4 Transporte de partículas por correntes de água

O rio durante o seu percurso passa por diferentes fases. *Juvenil* é a primeira, aquela que se caracteriza pelo excesso de energia, que quando erode transporta, situado em geral das cabeceiras. A fase de *madureza* estabelece-se quando a declividade é tal, que a energia é suficiente apenas para o transporte, porém não erode mais o fundo, apenas as margens. Com pouca declividade e energia insuficiente para o transporte, há deposição dos detritos mais grossos no fundo do rio, o vale tende a alargar-se, formando-se extensa planície. Esta é a chamada fase *senil*.

Desta forma os cursos d'água podem ser divididos em trechos cujas características hidráulico-sedimentológicas correspondem bem às fases do ciclo de erosão. Estas fases caracterizam os trechos naturais de um rio, o escoamento possui tendências erosivas, de equilíbrio de transporte sedimentar e deposicionais, respectivamente, resumidas no quadro 4.

**Quadro 4:** Fases de um rio com as características hidráulico-sedimentológicas relacionado com o ciclo erosivo (Davis 1909 *apud* Wilson Júnior 1992).

	CARACTERÍSTICAS DO ESCOAMENTO	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	CARACTERÍSTICAS DOS SEDIMENTOS	TENDÊNCIAS
JUVENTUDE	fluxo turbulento torrencial	declividade irregular acentuada; vale em forma de "V"; cachoeiras e corredeiras	carga sedimentar pouco volumosa; granulação mais grossa: pedregulhos, cascalhos, areia grossa; zona de erosão	APROFUNDAMENTO DO VALE
MATURIDADE	equilíbrio hidrodinâmico; escoamento permanente e uniforme	declividade mais suave; vale mais largo; configurações de fundo regulares: dunas, rugas e ondulações	equilíbrio sedimentar; leito aluvional; areias grossa, média e fina; erosão lateral	PREENCHIMENTO DO VALE COM SEDIMENTOS
SENILIDADE	escoamento lento; baixa turbulência ou regime laminar	declividade reduzida ou nula; vales amplos; planícies de inundação	transporte de sedimentos finos: silte e argila; zonas de deposição sedimentar	MEANDRAMENTO



O transporte do material particulado por águas fluviais e pluviais pode ser de três formas: suspensão, arrasto ou saltação. O *transporte em suspensão* ocorre devido à turbulência da corrente líquida, que transporta as partículas menores (silte e argila). Neste caso, as partículas são transportadas independentes da forma do leito do rio. A segunda forma, o *transporte por arrasto*, está relacionado com as tensões tangenciais que atuam nas partículas mais grossas, causadas pela água em movimento. O arrasto das partículas ocorre por ação de efeito das tensões cisalhantes provocadas pela passagem da corrente.

O transporte por *saltção* é aquele em que as partículas avançam ao longo do leito fluvial por saltos curtos. Este transporte movimenta partículas maiores, principalmente areias. O transporte por saltação pode ser considerado como processo intermediário entre o transporte por arrasto e suspensão.

### 2.5.5 Fragilidade ambiental

O estudo de fragilidade ambiental se fundamenta em observar como um ambiente, que naturalmente pode apresentar graus de fragilidade, se comporta ou pode vir a se comportar com a interferência da ação humana.

Um dos precursores do método de estudo da fragilidade ambiental é J. Tricart, onde no livro “Ecodinâmica”, 1977, analisa as trocas entre fluxos energéticos no meio natural e as inter-relações dos fatores ambientais ligados aos processos morfogenéticos, ou seja, processos responsáveis pelo modelamento do relevo. Neste estudo o autor elabora o conceito de ecodinâmica, definido como relação entre os aspectos ecológicos e suas interações com os seres vivos, e outros fundamentais ao estudo ambiental, como ecologia, ecossistema e sistema, que permite avaliar diferentes alterações quantitativas e qualitativas nos diversos ambientes.

A partir dos estudos de Tricart (1977), Ross (1991) elaborou-se uma divisão em unidades ecodinâmicas, segundo o grau de instabilidade, categorizadas em: a) unidades ecodinâmicas estáveis, aquelas em equilíbrio dinâmico, sem incluir das ações antrópicas, denominada de Fragilidade Potencial, e b) unidades ecodinâmicas instáveis, aquelas em equilíbrio dinâmico instáveis, potencialmente com ações humanas, denominada de Fragilidade Emergente.

Ross (1991) propôs um método para classificar a fragilidade dos ambientes naturais em que relaciona os aspectos do meio físico (clima, solo, constituição geológica e relevo) e biótico (vegetação). A análise integrada destes aspectos retrata a Fragilidade Potencial que apresenta as condições naturais de cada ambiente, e a partir

do resultado, integrando-o às diferentes formas de uso e ocupação do solo, obtêm-se a Fragilidade Emergente que apresenta os problemas ocasionados pela ação humana sobre o meio físico natural.

Em análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados sugerida por Ross (1994), utiliza-se a bacia hidrográfica como delimitação de área onde as intervenções antrópicas devem ser planejadas com o objetivo de um correto ordenamento territorial. Suas premissas foram dados de potencialidades dos recursos naturais e a fragilidade dos ambientes. Como concepção teórica propôs o estudo da dinâmica dos ambientes naturais com ou sem intervenção humana e a elaboração do zoneamento ambiental como base cartográfica útil a análise da fragilidade.

O método proposto da fragilidade empírica por Ross (1994) fundamenta-se no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre suas componentes físicas e bióticas. Os procedimentos operacionais para a sua construção exigem num primeiro instante os estudos básicos do relevo, solo, geologia, clima, uso da terra e cobertura vegetal etc. Posteriormente, essas informações são analisadas de forma integrada gerando um produto síntese que expressa os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características físicas e vegetação.

Diante dos diferentes estados de equilíbrio dos ambientes, Ross (1994) sistematizou uma hierarquia nominal de fragilidade representada por códigos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5). Estas categorias expressam especialmente a fragilidade do ambiente em relação aos processos erosivos.

Os métodos elaborados por Tricart (1997) e Ross (1990, 1994 e 1996) foram aplicados por vários pesquisadores de diferentes áreas, dentre eles: Maximiano (1996), Rodrigues (1998), Crepani (1999), Spori (2001), Boiko (2004), Kawakubo (2005).e Silveira (2005) em alguns casos sofreram modificações e em outros foram usadas em sua íntegra.

Para Boiko (2004) o método de análise da fragilidade dos ambientes naturais e antrópicos são muito utilizados. Isto comprova a sua eficiência em analisar a fragilidade do meio natural e as ações antrópicas sobre este, sendo ainda um método que não é fechado em si, e permite a inserção de outros parâmetros fisiográficos no estudo ambiental.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

##### a) Mapas

A confecção de mapas de trabalho da bacia na escala de 1:50.000, baseou-se em: cartas topográficas na escala 1:50.000 (IBGE 1978); cartas digitais geológicas na escala de 1:500.000 e de solos na escala de 1:250.000. As cartas digitais foram desenvolvidas pela Superintendência de Geologia e Mineração da Secretaria de Indústria e Comércio de Goiás (GOIÁS 2003); mapas do RADAM BRASIL (BRASIL 1983) e imagem de satélite LANDSAT TM (LANDSAT TM 7 2004).

##### b) Campo

Para coletas de sedimentos de fundo do lago, levantamentos batimétricos e reconhecimento da área de estudos, foram empregados: embarcação de 5 metros com motor-de-pôpa e equipamento de mergulho, amostrador vertical “CLS” (adaptação do *piston core* com canos de PVC, draga de Peterson, dispositivo manual GPS, câmara fotográfica digital, GPS-Ecossonda modelo GP-1650F digital conectado a um computador, trado para amostragem de solos, enxadão e cavadeira).

##### c) Análise de laboratório

Nas análises de granulometria foram usados: estufa com aquecimento entre 10 e 100 °C, balança eletrônica digital com precisão de 0,01g, balança eletrônica digital com precisão de 0,0001g, agitador mecânico tipo *rot-up* com peneiras, agitador mecânico a hélice, provetas e pipetador com escala métrica, béquer de plástico de 1.000 mL, béquer de vidro de 50 mL, peróxido de hidrogênio de 130 volumes, pirofosfato de sódio, funil de vidro com capacidade de 1 litro e serra elétrica, lupa e escala na classificação granulométrica visual.

##### d) Trabalhos de escritório

No processamento de dados foram utilizados: microcomputador com processador Pentium 4, placa mãe Asus, Windows XP 2000, 256 Mbytes de memória “ram”, disco rígido de 80 Gbytes, Scanner, e os softwares *Microsoft Excel*, *Microsoft Golden Surfer 8.0*, *Microsoft Word 2002*, *Digger V3.02* e *Corel Draw V12*.

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Procedimentos de campo

Os procedimentos de campo tiveram por finalidade coletar materiais para análise em laboratórios e reconhecer os aspectos fisiográficos da área de estudos. Foram divididos em três etapas: 1) amostragem de depósitos de fundo com a draga de Peterson; 2) amostragem de depósitos de fundo com equipamento do tipo “CLS” e 3) levantamento de perfis batimétricos.

As coletas de sedimentos com a draga de Peterson e com equipamento “CLS”, foram realizadas simultaneamente, com intuito de obter amostras de materiais depositados em locais previamente estabelecidos.

#### 3.2.1.1 Amostragem com draga de Peterson

A coleta de sedimentos de fundo foi realizada em duas campanhas, utilizando-se a draga de Peterson (figura 6) para realização de análises granulométricas e de teor de matéria orgânica. Na primeira foram efetuadas coletas em 19 locais no lago, em junho de 2004. Na segunda etapa foram coletadas 21 amostras de sedimentos, em maio de 2005.



**Figura 6:** Draga de Peterson, equipamento utilizado na coleta de sedimentos de fundo do lago.

Para a coleta, a draga foi lançada de um barco. Este amostrador funciona da seguinte maneira: ao tocar o fundo do reservatório a draga, aberta, crava-se no

material inconsolidado. Quando recolhida, um dispositivo é acionado fechando-o antes da subida. Assim o equipamento retém em seu interior o material da porção superior dos depósitos de fundo. As amostras extraídas com a draga foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório de solos do CAJ/UFG para análises granulométricas e para a quantificação do teor de matéria orgânica.

### 3.2.1.2 Amostragem com equipamento do tipo “CLS”

A amostragem de sedimentos de fundo foi realizada com o equipamento adaptado do *piston core*, denominado “CLS” (figura 7). Foram obtidos testemunhos em colunas verticais para descrição visual dos sedimentos, por cravação no fundo do lago. Utilizaram-se tubos de PVC de 50 mm de diâmetro, segundo técnicas descritas por (Ponçano *et al.* 1981, Lopes 1993 e Saunitti 2003).



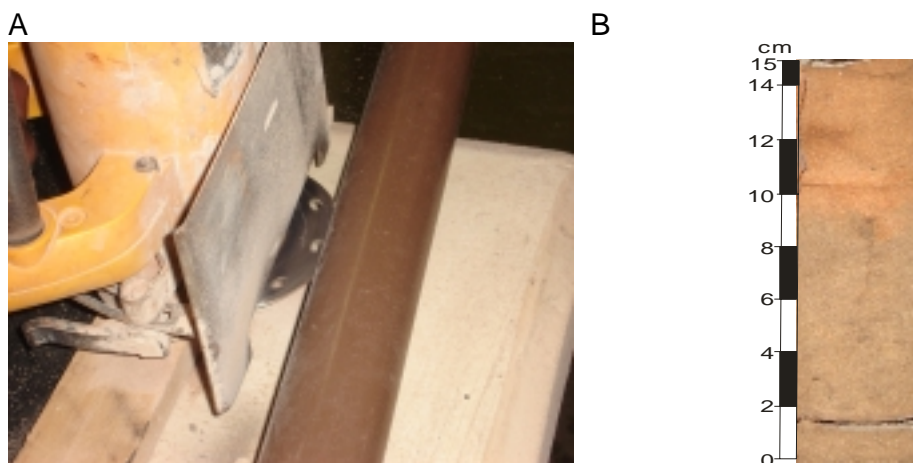
**Figura 7:** Equipamento “CLS”, com cano de PVC para coleta de amostras verticais de sedimentos de fundo do lago.

As coletas foram feitas em duas etapas. A primeira, em junho de 2004. A segunda, de 21 amostras, realizou-se em maio de 2005.

As amostras foram armazenadas em posição vertical para evitar que as estruturas internas do material viessem a sofrer deformações por carga, assim como para extrair a água presente nos poros.

Depois de secas as amostras, os canos foram cortados em duas meia-canais, com serra elétrica (figura 8A). Abertos os tubos (figura 8B), as amostras foram

descritas segundo cor, granulação, textura e estruturas sedimentares presentes. Para a descrição visual dos sedimentos foi utilizada lupa e escala com a classificação granulométrica proposta por Wentworth (1992), confeccionada pelo Laboratório de Estudos Sedimentológicos e Petrologia Sedimentar (LabeSed), que pertence ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná.



**Figura 8: A)** Corte dos tubos de PVC em duas meia-canais para descrição dos testemunhos; **B)** material exposto para caracterização granulométrica, feições texturais e estruturas sedimentares.

### 3.2.1.3 Levantamento de perfis batimétricos

Os mapas elaborados em levantamentos batimétricos são recursos de grande importância para o conhecimento das características morfológicas do fundo de corpos d'água. No caso de reservatórios, os mapas batimétricos mostram-se úteis na caracterização da forma do fundo do reservatório, tornando-se um importante subsídio para a realização de estudos de erosão/sedimentação (Meurer 2003).

Os levantamentos batimétricos (figura 10) foram realizados para obter dados topográficos e as características morfológicas de fundo do lago. Os perfis foram obtidos com a emissão de pulsos com frequências de 50 kHz ou 200 kHz. O equipamento utilizado possui um transdutor submerso (sonar) que foi responsável pela recepção do sinal refletido na superfície de fundo. O pulso de alta frequência emitido pelo sonar não penetra os substratos sedimentares, o que possibilita a obtenção de informações topográficas da superfície de fundo. O intervalo de tempo decorrido entre a emissão do sinal e a recepção do eco refletido do fundo submerso é convertida em medida de profundidade, visto que a velocidade do som na água é conhecida. O transdutor calcula a profundidade pela diferença de tempo entre a emissão e a recepção do pulso. Está apto a medir profundidades entre 0,5 m e 800 m, com uma precisão de 0,1 m.

O equipamento foi instalado numa embarcação com motor-de-pôpa (figura 9), para levantamento de perfis logintudinal e latitudinal do lago. O barco deslocou-se com

velocidade máxima cerca de 5 km/h, para não haver interferência da emissão do sinal na recepção dos pulsos.

Foram realizados levantamentos de perfis batimétricos longitudinais, transversais e em zigzag. Os levantamentos longitudinais constituíram-se em três seções: uma na margem direita, uma na margem esquerda e a outra no centro do reservatório. Os perfis perpendiculares correspondem a seções a montante, no meio e a jusante, no lago. Seções denominadas de “zigzag” foram realizadas com objetivo de adensar a malha de informações sobre a topografia de fundo.



**Figura 9:** Equipamentos utilizados no levantamento de dados batimétricos.

Nas seções transversais, perpendiculares a linhas marginais do lago, a varredura foi realizada em seções com espaçamento de 10 a 15 m, em toda extensão do reservatório. As cotas batimétricas obtidas, foram processadas com uso do programa *Surfer 8*, conforme proposto por Vilhena *et al.* (2003).

### 3.2.2 Procedimentos de laboratório

Os sedimentos do fundo do lago foram levados para laboratório de solos para análises granulométricas (pipetagem e peneiramento).

#### 3.2.2.1 Análises granulométricas

A caracterização granulométrica dos sedimentos de fundo foi feita pela conjugação de dois métodos: pipetagem e peneiramento. Obtiveram-se pesos das

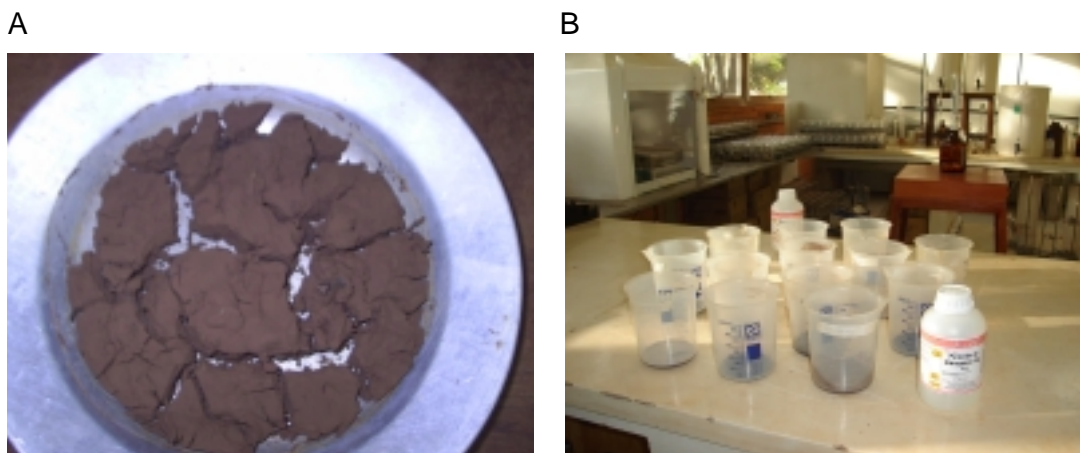


frações, depois convertidos em porcentagens. Os pelitos foram quantificados por pipetagem. As classes mais grossas (areias e grânulos) foram quantificadas por peneiramento, segundo método descrito por Suguio (1973), Coimbra (1976) e Coimbra *et al* (1999).

A pipetagem utiliza-se de alíquotas de 20 mL retirada de solução com pipetas, segundo intervalos de tempos com base na lei de Stokes (Suguio 1973, Coimbra 1976 e Coimbra *et al.* 1999).

#### a) Preparação de amostras

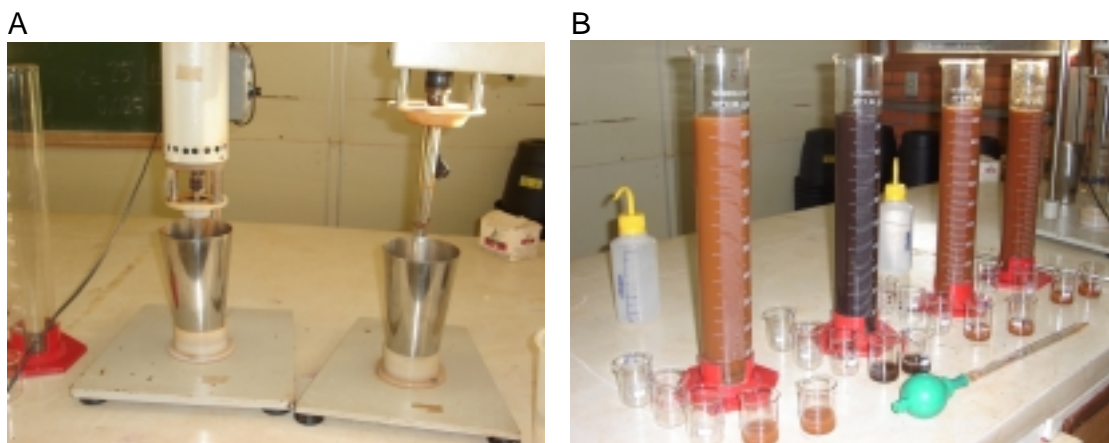
Após a coleta, as amostras foram colocadas em pratos de alumínio e levadas a secagem (figura 10A) em estufa por 24 h, em temperatura de 40 °C. Depois de secas foram quarteadas em desagregador mecânico, com cuidado de não fragmentar partículas. Posteriormente foram pesados 50 g de um material com balança eletrônica digital, e colocados em béquer de 1000 mL, para quantificação de teor de matéria orgânica (MO). O cálculo foi feito por diferença entre o peso final e inicial, após a oxidação da matéria orgânica com peróxido de hidrogênio  $H_2O_2$  a 130 vols. (figura 10B).



**Figura 10:** **A)** Material após secagem em estufa; **B)** béqueres com amostra pronta para quantificação de teor de matéria orgânica.

Após a queima da MO o material foi desagregado em um almofariz de porcelana com pistilo. Em seguida, colocado em misturador mecânico com água destilada por até 15 minutos (figura 11A). Depois de agitado o material foi transferido para uma proveta (figura 11B) de 1000 mL, adicionando-se 1 g de pirofosfato de sódio (defloculante).





**Figura 11:** **A)** Misturador mecânico de hélice utilizado na homogeneização da amostra e dissolução do defloculante; **B)** material utilizado na pipetagem.

#### b) Quantificação da fração pelítica (pipetagem)

Após interromper-se agitação do material na proveta com misturador manual, feita para colocar as partículas em suspensão, teve início a contagem de tempo de decantação com cronômetro. A coleta de cinco alíquotas de 20 mL com pipeta graduada seguiu tempos estipulados segundo a Lei de Stokes (1851) *apud* Suguio (1973), Coimbra *et al.* (1999), para partículas entre 0,062 e 0,004 mm de diâmetro (tabela 1).

**Tabela 1:** Granulação, profundidade de coleta e tempo utilizados na pipetagem.

diâmetro (mm)	profundidade de coleta (cm)	tempo
0.062 – 0.031	20	58 s
0.031 – 0.016	20	3min 52s
0.016 – 0.008	10	07min 44s
0.008 – 0.0004	10	31 min
< 0.004	10	2h03min

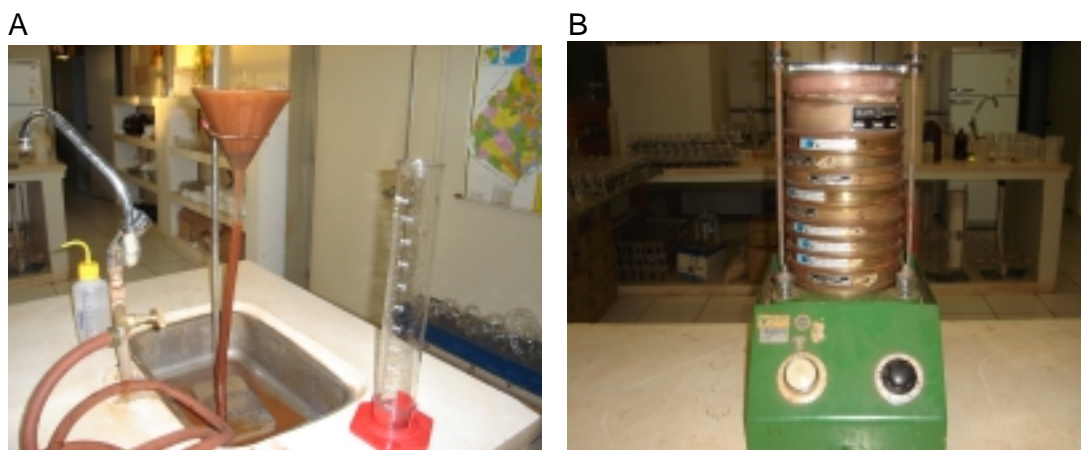
Colocado em béqueres de vidro de 50 mL, o material pelítico pipetado foi levados à estufa com a temperatura de 40°C. Após seco foi pesado em balança digital de precisão de 0,001 g.

A concentração de partículas entre 0,062 e 0,031 mm foi determinada subtraindo-se o peso do material desta classe, do peso dos sedimentos da classe 0,031-0,016 mm. O primeiro volume pipetado contém além dos sedimentos entre 0,062 e 0,031 mm também partículas de todas as outras classes granulométricas de dimensões inferiores. O volume seguinte contém além dos sedimentos entre 0,031 e 0,016 mm, partículas com diâmetros menores que esses, porém não mais os sedimentos da classe inicial, pois estes já ultrapassarem o nível de coleta. Assim, quando se procede à subtração do peso da classe de 0,031-0,016 mm determina-se o

peso de sedimentos entre 0,062 e 0,031 mm presente em um volume de 20 mL (Coimbra *et al.* 1999).

c) Quantificação da fração psamítica (peneiramento)

Depois da pipetagem, o material da proveta foi colocado em funil com capacidade de 1 litro, para realizar a elutriação (figura 12A). A elutriação é a remoção, por passagem de fluxo de água, das frações pelíticas (diâmetro menor que 0,062 mm) das frações de diâmetro maior que 0,062 mm. O material elutriado foi colocado na estufa a 40 °C, para secagem e posterior peneiramento (figura 12B).



**Figura 12:** A) Elutriação da amostra para posterior peneiramento, após secagem; B) agitador mecânico *rot up* com jogo de peneiras.

O peneiramento foi feito colocando-se o material de diâmetro acima de 0,062 mm, em jogo de 11 peneiras com malha padronizada, seguindo a escala granulométrica de Wentworth (1922). As peneiras foram sobrepostas com as medidas em ordem de 2,830; 2,000; 1,410; 1,000; 0,707; 0,500; 0,354; 0,250; 0,177; 0,088 e 0,062 mm. O conjunto de peneiras foi colocado no dispositivo de base vibratória durante 15 minutos. O material retido em cada peneira foi pesado para obter-se a composição das frações grânulos e areia da amostra.

O método de peneiramento separa grãos de acordo com o diâmetro intermediário em partículas com três dimensões desiguais: alongado, esfera e cubo (Coimbra *et al.* 1999). O diâmetro que permite a passagem entre a o maior e menor fração em relação a abertura de cada peneira.

### 3.2.2.2 Análise em sedimentos pelíticos

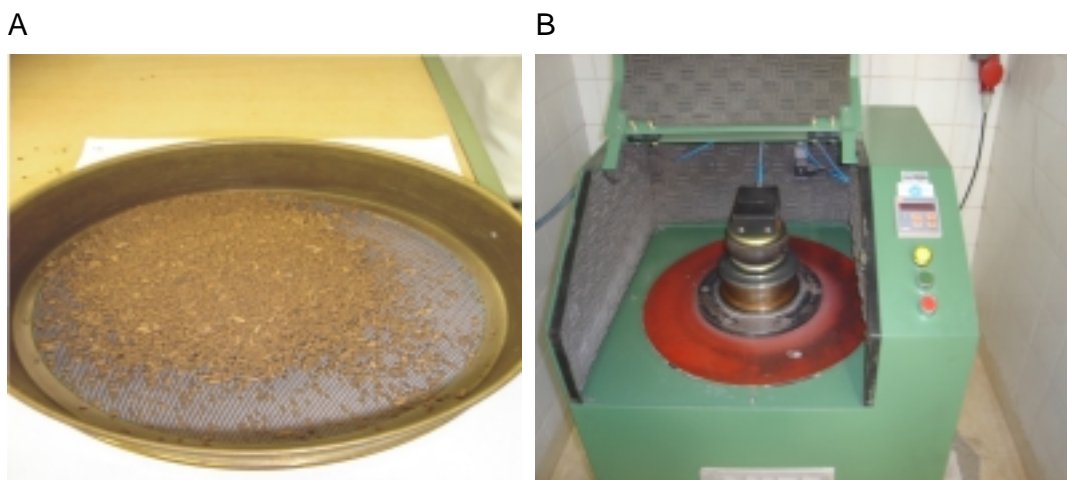
As análises por difratometria de Raios X e fluorescência de Raios X de amostras de sedimentos silte-argilosos (amostras 20, 22, 9 e 12; vide figura: 35), coletadas pela

draga de Peterson, foram realizadas no Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (LAMIR) do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná.

#### a) Difração de Raios X

Análises de mineralogia foram realizadas com objetivo de identificar possíveis hipóteses de processos de cimentação em partículas de argila do material coletado pela draga de Peterson do fundo do lago.

As amostras “in natura” secas e desagregadas (desagregador mecânico), com cuidado de não fragmentar partículas, foram peneiradas para retirar restos de matéria orgânica (figura 13A), quarteadas, em seguida pulverizadas (figura 13B). Em seguida foi realizado a técnica do pó prensado (esfregaço) para efetuar a difratometria de raio X (determinar a mineralogia).



**Figura 13: A)** Material peneirado para retirar restos matéria orgânica; **B)** Equipamento para pulverizar materiais das amostras.

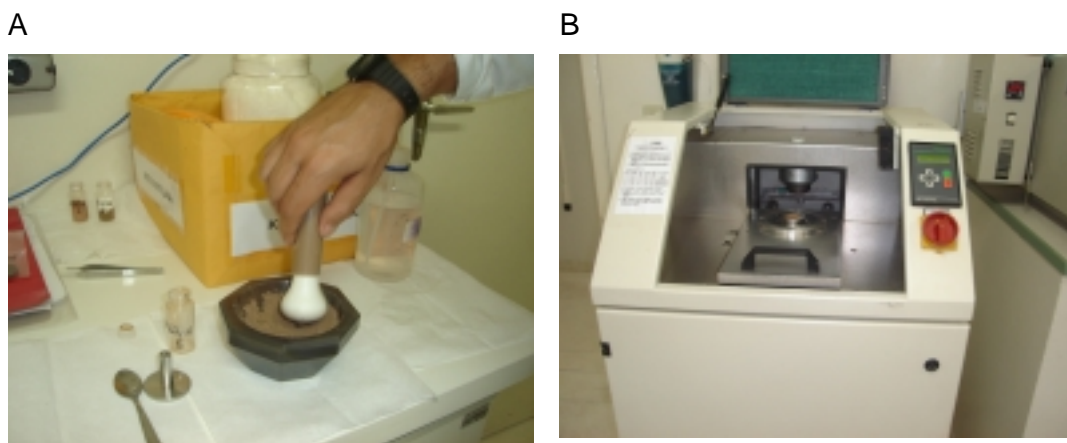
A determinação mineralógica, por medição de parâmetros cristalinos, foi realizada por meio da difração de raios X, pelo Método designado como do Pó, utilizado o difratômetro *Philips* modelo PW 1830 (figura foto do difratômetro). Na interpretação dos resultados aplicou-se o *software X'Pert Highscore*, da *Philips* (figura da imagem na tela do software).

#### b) Fluorescência de raios X

Análises de fluorescência de raio X nas quatro amostras mencionadas, foram efetuadas para identificar elementos químicos presentes em cada amostra coletadas pela Draga de Peterson. Os ensaios foram para comprovar a possibilidade das partículas de argila estarem aglutinados por processo de cimentação com Fe.

Para realizar análise de fluorescência foi necessário prensar o material em forma de pastilhas. Para isto, as amostras foram pulverizadas e secas a 100 °C, colocados

em frascos de vidros de 50 mL pesados 7 g do material e 1,4 g de cera (composto orgânico) em balança de precisão. Posteriormente, efetuado a homogeneização (mistura do material com a cera) em cápsula de ágata e pistilo (figura 14A) e colocado o material na prensa hidráulica (PFAFF) para comprimir com pressões que chegam 30.000 libras (figura 14B). Depois de prensado o material fica na forma de pastilhas para a fluorescência.



**Figura 14:** **A)** Homogeneização do material com cera para ser prensada; **B)** Equipamento para prensar material.

A análise química foi executada com pastilhas prensadas do material e analisada através do método de fluorescência de raios X (Dutra & Gomes 1984) em equipamento da *Philips*, modelo PW 2400 usando o *software Super IQ+* semi quantitativo.

### 3.2.3 Procedimentos de escritório

#### 3.2.3.1 Mapas da área de estudos

Os mapas da bacia foram produzidos para compilar informações e servir de meio para análises das características fisiográficas com ferramentas descritas no item 4.1.

Os mapas do lago e proximidades foram feitos como propósito de auxiliar na discussão da distribuição dos materiais sedimentados.

Os mapas confeccionados foram importantes nas análises dos processos erosivos da área de estudos, como na identificação qualitativamente das fragilidades potenciais ambientais, possíveis contribuições de materiais para o assoreamento do lago.

### 3.2.3.2 Análise estatística de parâmetros granulométricos

Após a pesagem das frações e sua conversão em porcentagens, foram calculados os parâmetros granulométricos diâmetro médio, seleção e assimetria. A partir da composição granulométrica foram confeccionadas curvas granulométricas e gráficos de distribuição, com auxílio do *software Sysgran 2.4*, desenvolvido por Camargo (1999).

### 3.2.3.3 Distribuição dos resultados da granulometria

Os resultados de análises das amostras das duas campanhas de campo foram digitados em planilhas do *software Excel* para determinação da composição granulométrica, dos parâmetros granulométricos, com uso do *software Sysgran 2.4*.

Os dados da classificação em classes granulométricas e os parâmetros texturais foram localizados em mapas. Para tanto, utilizou-se o arquivo de leitura *grid* no subitem *data* do programa *Surfer 8*, para interpolar os dados editados (X, Y e Z) nas planilhas do *Excel*. Os resultados foram interpolados pelo programa pelo método de krigagem.

### 3.2.3.4 Mapas de Fragilidade Potencial Erosivo e Emergente

Os mapas de fragilidade potencial erosivo e emergente da bacia foram elaborados a partir da combinação das informações obtidas do mapa de solo, declividade e uso dos solos e ocupação do terreno.

O mapa de Fragilidade Potencial Erosivo, que é a integração da fragilidade dos tipos de solos com a fragilidade dos níveis de declividade. Com os dados obtidos no mapa da fragilidade potencial com a correlação da fragilidade do uso e ocupação do terreno, obtêm-se o mapa da Fragilidade Emergente. A confecção desses mapas temáticos para análise qualitativa da bacia baseou-se no método empírico de fragilidade desenvolvido por Ross (1994).

Os valores utilizados para as classes de fragilidades nesta pesquisa, correspondem a 5 classes hierarquizadas, representadas por códigos, com base na proposta de fragilidade ambiental apresentada também por Ross (1994).

As classes de fragilidade foram classificadas em cinco categorias: 1 – muito baixa, 2 – baixa, 3 – média, 4 – alta e 5 – muito alta. Para estabelecer tais classificações foram utilizados parâmetros de solos, declividades e uso e ocupação do terreno existente na área de estudos.

Para a fragilidade dos solos, foram agrupados dois tipos de solos (quadro 5).

**Quadro 5:** Fragilidade dos tipos de solos da bacia, adaptado Ross (1994).

classes de fragilidade	tipos de solos
1 – muito baixa	latossolo roxo distrófico, latossolo vermelho escuro distrófico (textura argilosa)
2 – baixa	latossolo vermelho escuro distrófico (textura média)
5 – muito alta	Areias quartzosas distróficas

As classes de fragilidade adotadas para o presente trabalho entre os intervalos de declividade da proposta de Ramalho Filho & Beek (1995), modificados do método proposto por Ross (1994). As classes de fragilidade para os intervalos de declividade são apresentadas, conforme o quadro 6.

**Quadro 6:** Fragilidade das classes dos intervalos de declividade proposto por Ramalho Filho & Beek (1995), modificado de Ross (1994).

classes de fragilidade	intervalos de declividades da proposta de Ramalho Filho & Beek (1995)
1 – muito baixa	< 3%
2 – baixa	de 3 a 8%
3 – média	de 8 a 13%
4 – alta	13 a 20%
5 – muito alta	> 20%

Com base no mapa de solos e no mapa de declividade, foram elaborados respectivamente, o mapa de classes de fragilidade de solos e o mapa de classes de fragilidade da declividade. Por meio da correlação de “valores temáticos” (classes de fragilidade) obtém-se a classificação final da fragilidade potencial.

Os dois mapas (classes de fragilidade) foram confrontados para a definição do mapa de Fragilidade Potencial Erosivo da bacia do lago Bonsucesso, utilizado a seguinte fórmula:

$$C = (A+B)/2, \text{ onde:}$$

C é o valor da fragilidade potencial;

A é o valor referente aos tipos de solos;

B é o valor referente aos intervalos de declividades.

Com o resultado após aplicação da fórmula, calculou-se a média aritmética entre os valores de fragilidade dos solos e declividade, obtendo em números inteiros ou fracionários. Como a hierarquização das classes de fragilidade não prevê números fracionários, utilizou-se a Matriz de Cruzamento dos Mapas Temáticos aplicada por Tonetti (2003) para a definição das classes de fragilidade potencial (Boiko 2004).

Com as classe de fragilidade obtidos no mapa de Fragilidade Potencial Erosivo, com a correlação dos valores de fragilidade de uso e ocupação do terreno (quadro 7), obtém-se o mapa de Fragilidade Emergente.

**Quadro 7:** Fragilidade das classes de uso e ocupação do terreno.

classes de fragilidade	tipos de uso e ocupação do terreno
1 – muito baixa	vegetação nativa
3– médio	pastagens
4 – muito alta	agricultura

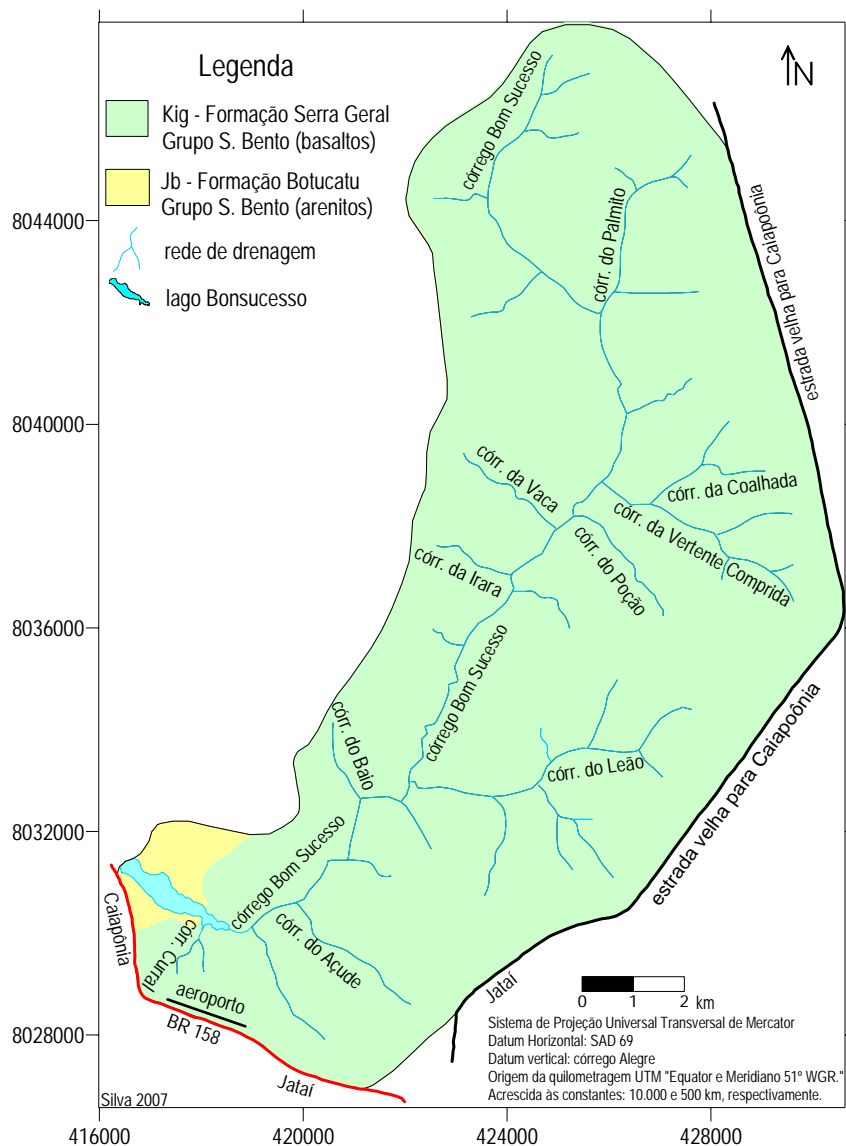
Os mapas de fragilidade potencial erosivo e emergente foram gerados no aplicativo *grid (data, blank e math)* do software *Surfer 8*. Os resultados foram interpolados pelo método de krigagem do programa.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análises dos aspectos fisiográficos da bacia

#### 4.1.1 Geologia

O substrato da área de estudos é composto por duas unidades litoestratigráficas: predominantemente pela Formação Serra Geral e pela Formação Botucatu (figura 15).

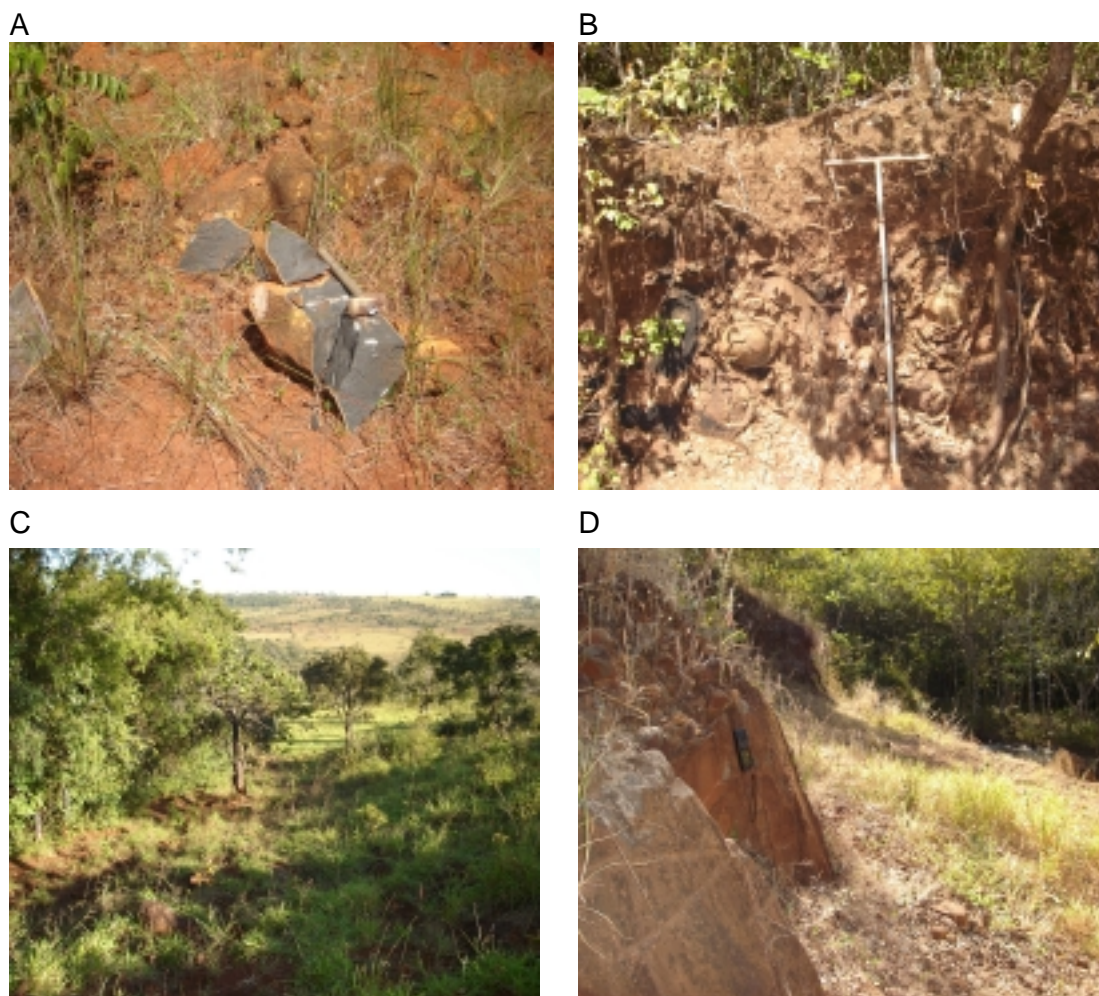


**Figura 15:** Mapa geológico da bacia (modificado de GOIÁS 2003).

As rochas basálticas da Formação Serra Geral, do Grupo São Bento, formaram-se por derrames vulcânicos, no período Cretácio Inferior (Renée *et al.* 1992). A rocha apresenta, em geral, aspecto maciço, cor cinza-escura, granulação fanerítica fina a média, ocasionalmente com a presença de amígdalas. Pode apresentar-se muito fraturada, ou com esfoliação esferoidal, quando submetida a intemperismo.



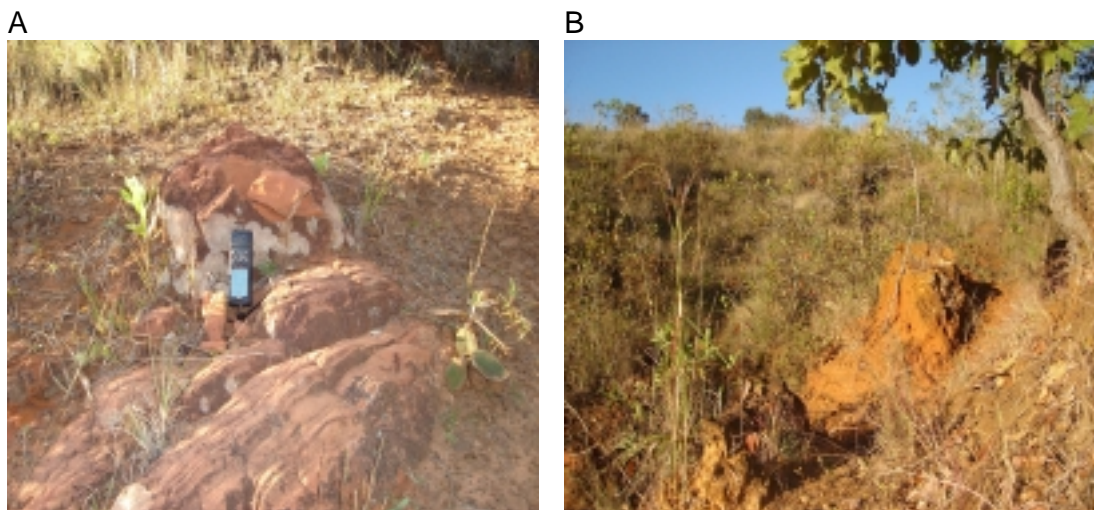
Em várias partes da bacia, principalmente nas áreas de relevo mais acidentado associado a rupturas de declividade, podem aflorar rochas basálticas (figura 16A, 16B, 16C e 17D).



**Figura 16:** **A)** Fragmentos de rochas basálticas, nas proximidades do córrego Bom Sucesso, lado esquerdo médio da bacia, local (coord.: 423521/8035761); **B)** Rochas com esfoliação esferoidal, decorrente de fraturamento e processos intempericos superficiais, corte de estrada no médio da bacia, local (coord.: 422478/8034400); **C)** Matações de basalto em relevo encosta com declive acentuado, parte superior da escarpa, lado direito da bacia, local (coord.: 4419396/8033400); **D)** Basaltos da Fm. Serra Geral, expostos na margem direita do córrego Bom Sucesso, próximo da cachoeira da fazenda César de Almeida Melo, local (coord.: 419396/8030395).

A Formação Botucatu, do Grupo São Bento, é constituída por quartzo arenitos, de granulação areia fina a média, bem selecionados e arredondados não apresentam estratificação cruzada. Em alguns locais podem apresentar intercalações conglomeráticas na base. São comumente silicificados. Os aspectos litológicos e sedimentares desta unidade indicam ambientes eólicos de deposição, desértico, num extenso *sand sea*.

As rochas areníticas (figura 17A) podem ser observadas no afloramento próximo do contato com a da Formação Serra Geral com a Botucatu, no lado direito do lago Bonsucesso (figura 17B).



**Figura 17: A)** Afloramento de arenitos da Fm. Botucatu; **B)** Exposição de colúvio arenoso na área de transição das formações Serra Geral e Botucatu, na fazenda do César de Almeida Melo, local das duas figuras, coordenadas: 4118351/8030915.

#### 4.1.2 Clima

A área de estudos insere-se no Planalto Central Brasileiro, onde predomina o clima tropical com uma estação seca por um período de cinco meses e uma estação chuvosa por um período de sete meses.

O clima da região é classificado como *Awa*, tropical úmido de Savana, mesotérmico, com chuva no verão e seca no inverno, conforme a classificação de Köppen. Porém, aplicando-se a classificação de Thornthwaite (1955) *apud* Assunção *et al.* (1999) identificaram no município de Jataí, dois tipos climáticos (Megatérmico e Mesotérmico).

As altas médias pluviométricas anuais de Jataí variam de 1000 a 1600 mm, e a amplitude térmica média anual é relativamente baixa (6,2°C), com temperatura variando entre 18,2°C no mês de julho e 24,4°C no mês outubro (Assunção *et al.* 1999). Os maiores índices pluviométricos registrados no município de Jataí, acima de 1600 mm, não se apresentam de forma contínua, mas, sim em "ilhas" dispostas ao longo de um pseudocinturão, no sentido sudoeste-nordeste, e pontos isolados ao norte e a noroeste.

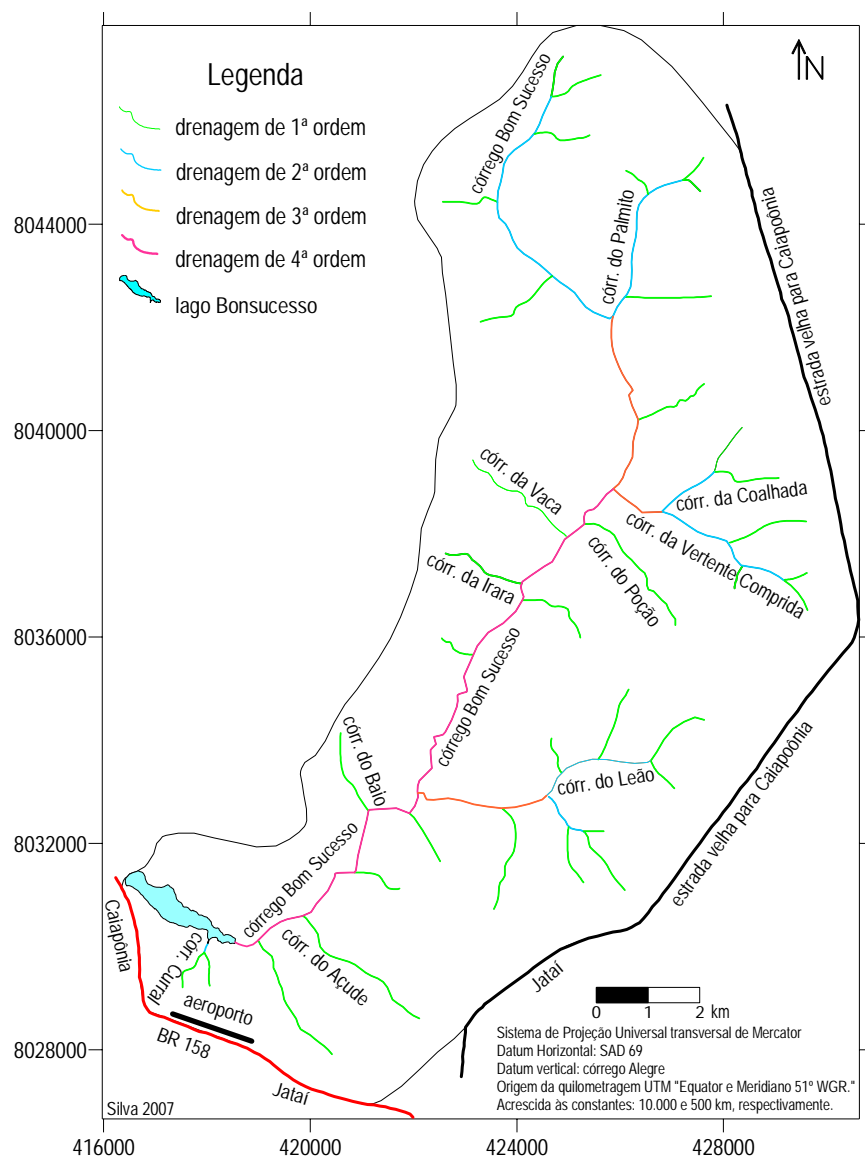
As maiores dispersões são observadas na faixa centro-sul e centro-norte, com valores variando entre 1400 e 1600 mm anuais. As médias pluviométricas entre 1200 e 1400 mm.ano<sup>-1</sup> estão dispersas em "ilhas" ao longo da área municipal. Observa-se

também a menor frequência espacial da pluviosidade ao sul do município, com valores entre 1000 e 1200 mm (Assunção 1999).

Na área de estudos os meses de maio a setembro são relativamente secos, com o mínimo de chuvas nos meses de junho, julho e agosto. Maio e setembro são meses de transição entre as estações seca e úmida, respectivamente. De outubro a abril as precipitações são abundantes, com as máximas de chuvas no solstício de verão, com trimestre mais chuvoso nos meses de janeiro, fevereiro e março.

#### 4.1.3 Hidrografia

A hierarquia fluvial da bacia é apresentada na figura (18).



**Figura 18:** Classificação dos elementos de drenagem, segundo a proposta Strahler (1952).

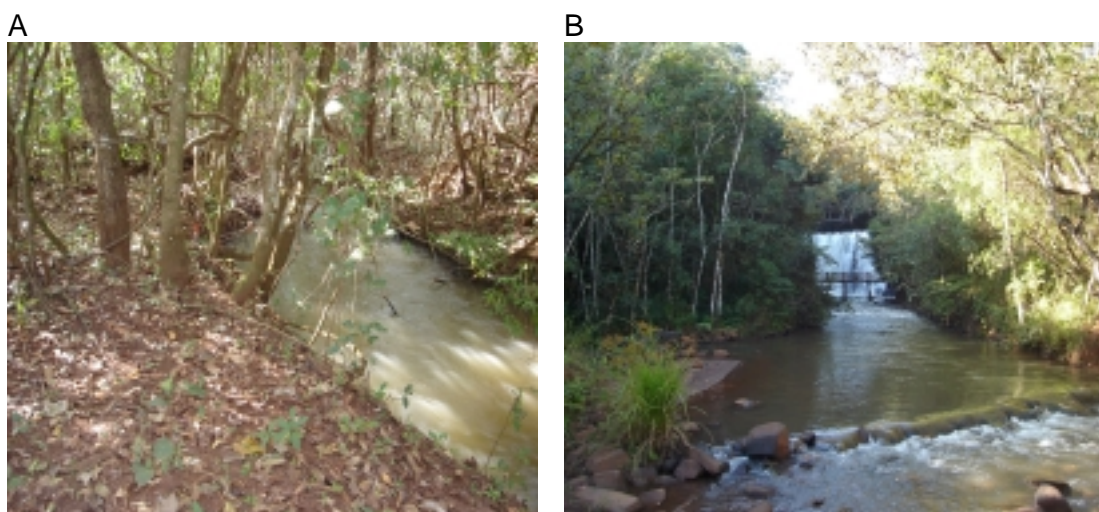


Os componentes da rede hidrográfica e topográfica são elementos que foram combinados para caracterizar os tipos de processos erosivos na bacia. Os parâmetros morfométricos indicam características relativas à forma da bacia (quadro 8). A vazão do córrego Bom Sucesso na entrada do lago é de 5,13 m³/s.

**Quadro 8:** Parâmetros morfométricos calculados para a bacia do lago Bonsucesso.

parâmetros morfométricos	quantidade
área	147,003 km²
perímetro	56,631 km
nº de canais de 1ª ordem	37
nº de canais de 2ª ordem	7
nº de canais de 3ª ordem	3
nº de canais de 4ª ordem <sup>a</sup>	1
comprimento total dos canais de 1ª ordem	48,77 km
comprimento total dos canais de 2ª ordem	16,72 km
comprimento total dos canais de 3ª ordem	7,39 km
comprimento do canal de 4ª ordem	13,11 km
comprimento total de todos os canais	85,99 km
cota máxima	920 m
cota mínima	630 m
amplitude altimétrica	290 m

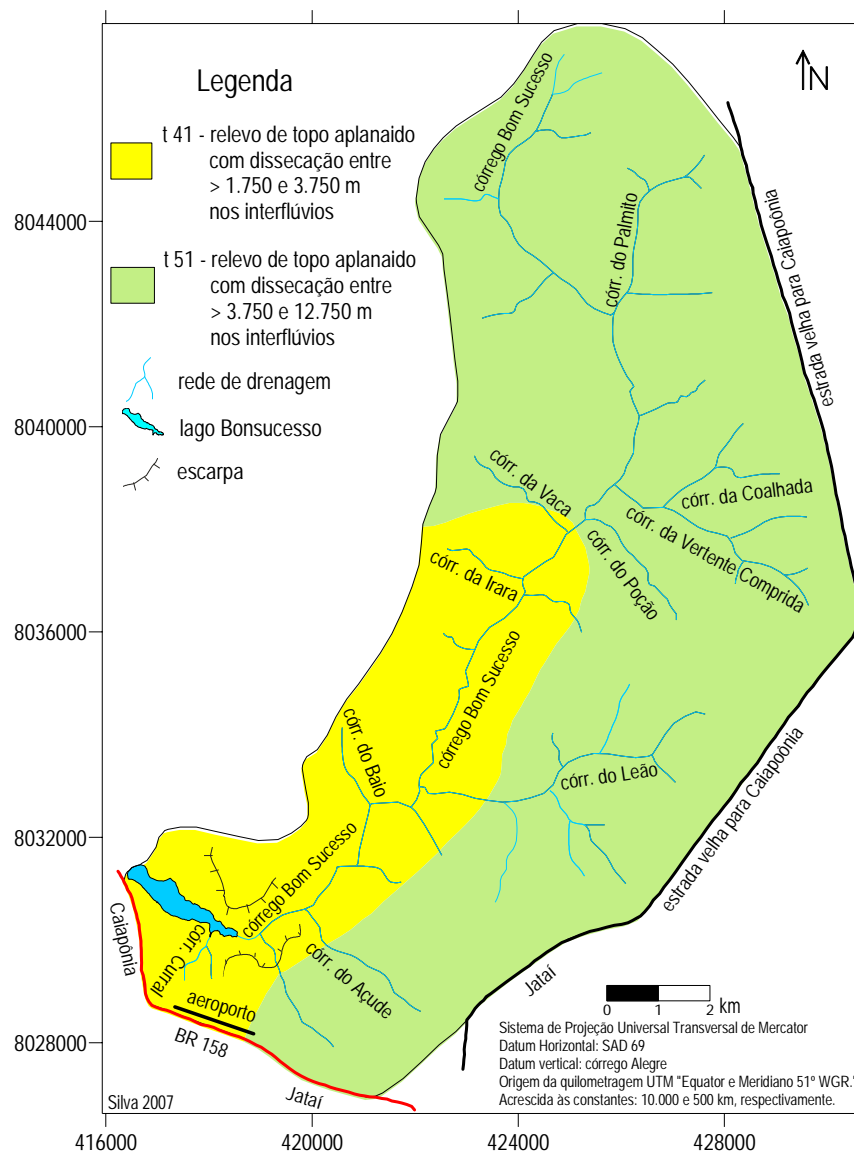
De acordo com o comprimento total dos canais da rede de drenagem e a amplitude altimétrica da bacia, o padrão de drenagem foi caracterizado pela classificação sistemática como dendrítica. Conforme mostra o mapa da figura 18 toda a rede drena para o córrego Bom Sucesso, que conseqüentemente, alimenta o lago. O leito do córrego flui sobre substrato de basaltos, em locais em que as margens estão protegidas por vegetação (figura 19A), praticamente em toda a sua extensão. Também pode ser verificado em seu trajeto o afloramento de rochas basálticas (figura 19B).



**Figura 19:** **A)** Córrego Bom Sucesso com margens protegidas por vegetação, entre o cór. da Vertente Comprida e cór. do Poção, local (coord.: 425782/8038081); **B)** Queda d'água no córrego Bom Sucesso sobre basalto acima da montante do lago, local (coord.: 419396/8030395).

#### 4.1.4 Geomorfologia e altimetria

Em termos geomorfológicos, a área em estudo é caracterizada por relevo de forma tabular de topo aplanado, com índice de dissecação dos interflúvios muito fraco (figura 20).

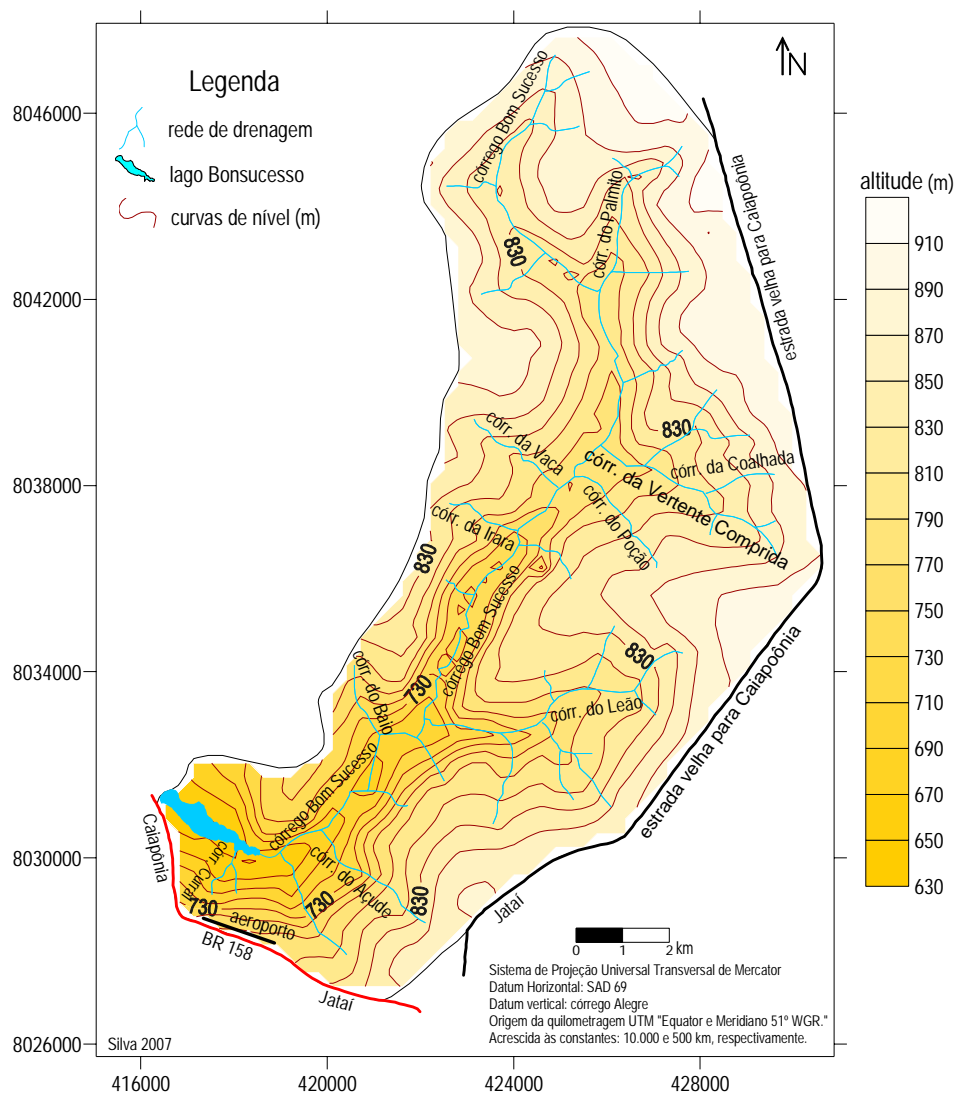


**Figura 20:** Mapa geomorfológico da bacia (modificado de GOIÁS 2003).

Na bacia a altitude varia de 630 metros no limite inferior da localização do lago Bonsucesso, até aproximadamente 920 metros (figura 21). A amplitude altimétrica é de 290 metros, valor significativo se considerada a pequena distância entre o ponto mais baixo e o mais alto. Na área, há um expressivo predomínio das altitudes intermediárias, com destaque para a faixa de 830 a 900 metros.

O relevo da bacia do lago Bonsucesso pode ser compartimentado em segundo intervalos altimétricos. No primeiro intervalo, entre de 830 e 920 metros, predominam

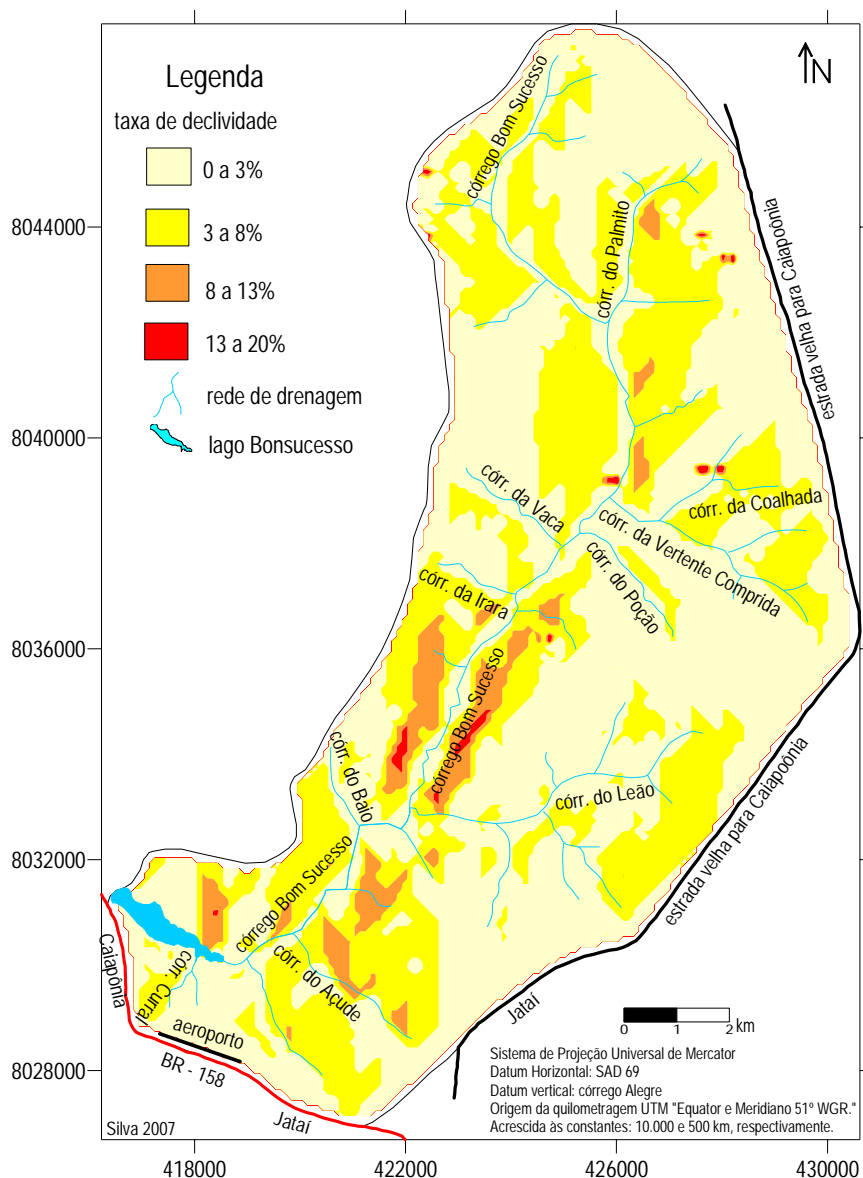
relevo plano e suave ondulado, típico dos chapadões, situados mais para as bordas do médio para o alto da bacia. O segundo intervalo, de 630 a 820 metros de altitude, compreende um vale com vários afluentes, onde o relevo é mais ondulado, com pequena escarpa acima na parte nordeste do lago.



**Figura 21:** Mapa altimétrico da bacia.

#### 4.1.4.1 Classes de declividade

O mapa de declividade possibilita diferenciar áreas com taxas de inclinação de vertentes (figura 22). Os intervalos de taxas de declives utilizadas para a bacia baseiam-se nos graus de limitação por suscetibilidade à erosão, segundo proposto por Ramalho Filho & Beek (1995).



**Figura 22:** Mapa de declividade da área de estudos.

As áreas com menores declividades estão nos setores leste, norte e na parte noroeste da bacia. Os relevos suaves ondulados são áreas com as menores declividades do médio/alto curso do córrego Bom Sucesso, onde predominam as classes de 0 a 3 e 3 a 8% (figura 23A).

As declividades mais acentuadas estão nos setores centro e sudoeste do baixo curso da bacia hidrográfica e principalmente acompanhando a rede de drenagem dos principais afluentes.

O aprofundamento do talvegue ocorre predominantemente nas rochas da Formação Serra Geral. Os rebordos erosivos ocorrem na escarpa próximo à montante do lago Bonsucesso (figura 23B), que faz parte do *front* da Serra da Onça. Nestas regiões a pastagem ocupa grandes áreas.



**Figura 23: A)** Vista do médio/alto do curso do córrego Bom Sucesso, onde se observa atividades agropastoris em relevo suave ondulado da bacia, local (coord.: 423521/8035761); **B)** Vista da escarpa à direita do lago Bonsucesso.

As áreas com declividade de 0 a 3 e 3 a 8%, apresentam um bom potencial de utilização, particularmente em lavouras mecanizadas. A agricultura predomina nas áreas de baixa declividade. Para Ramalho Filho & Beek (1995) as declividades superiores a 8%, podem ser aproveitadas para reflorestamento, culturas permanentes e pastagem, desde que não seja em terrenos de constituição arenosa. Nas declividades mais acentuadas recomenda-se a manutenção da vegetação natural.

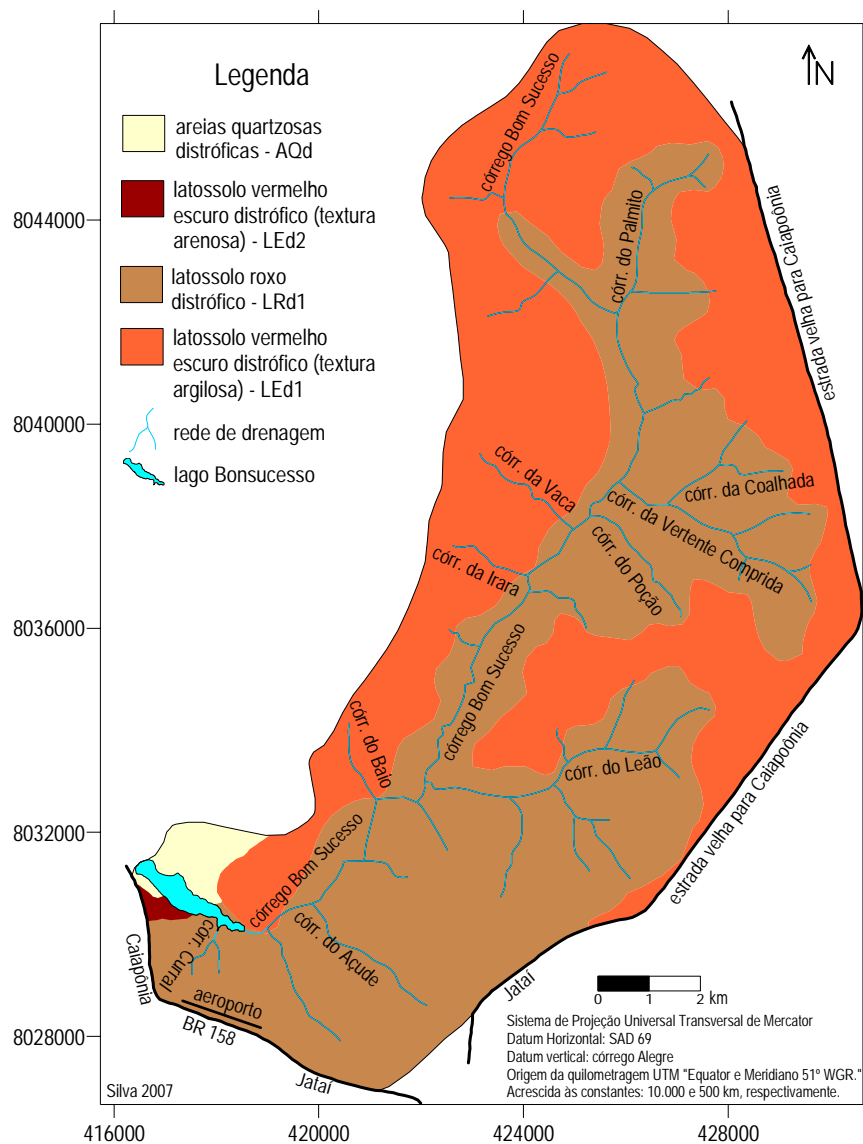
#### 4.1.5 Pedologia

A bacia hidrográfica do lago Bonsucesso apresenta quatro tipos de classes de solos: Latossolo Roxo distrófico (textura muito argilosa), Latossolo Vermelho Escuro distrófico (textura argilosa) e Latossolo Vermelho Escuro distrófico (textura arenosa) e as Areias Quartzosas distróficas (figura 24).

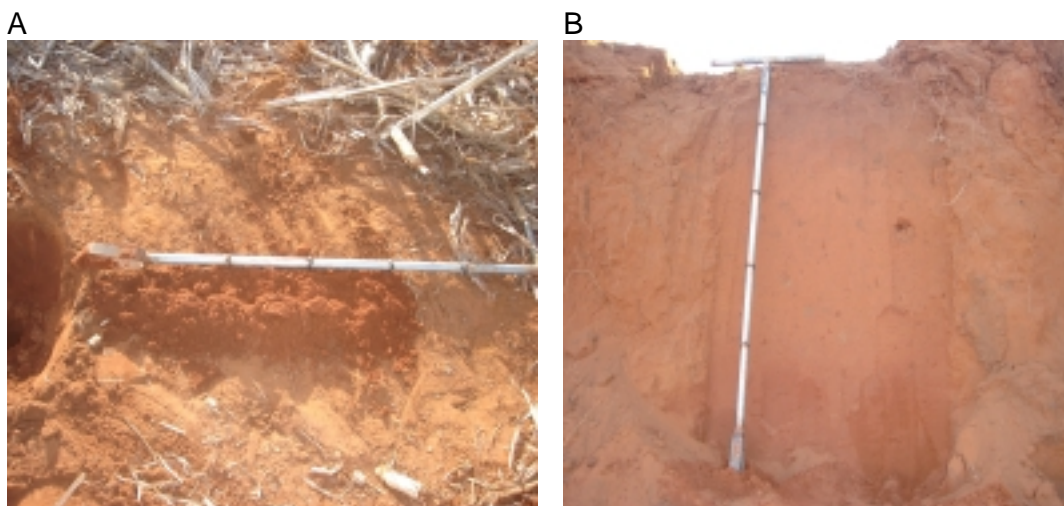
Os solos LRd e os LEd 1 (figura 25A) são bastante espessos e intemperizados e possuem caráter ácrico, com boa aeração e drenagem. O LEd 2 é um solo de transição do substrato da Formação Serra Geral e Formação Botucatu, um pouco friável. As Areias Quartzosas (figura 25B) são bastante friáveis, com baixa capacidade de retenção de umidade.

O Latossolo Roxo é a classe mais abundante, constitui 52,5% do solo da área de estudo, seguido pelo Latossolo Vermelho-escuro e Latossolo de textura arenosa com 45,9%, e em menor quantidade, as Areias Quartzosas distróficas, que corresponde a 1,6% da área.





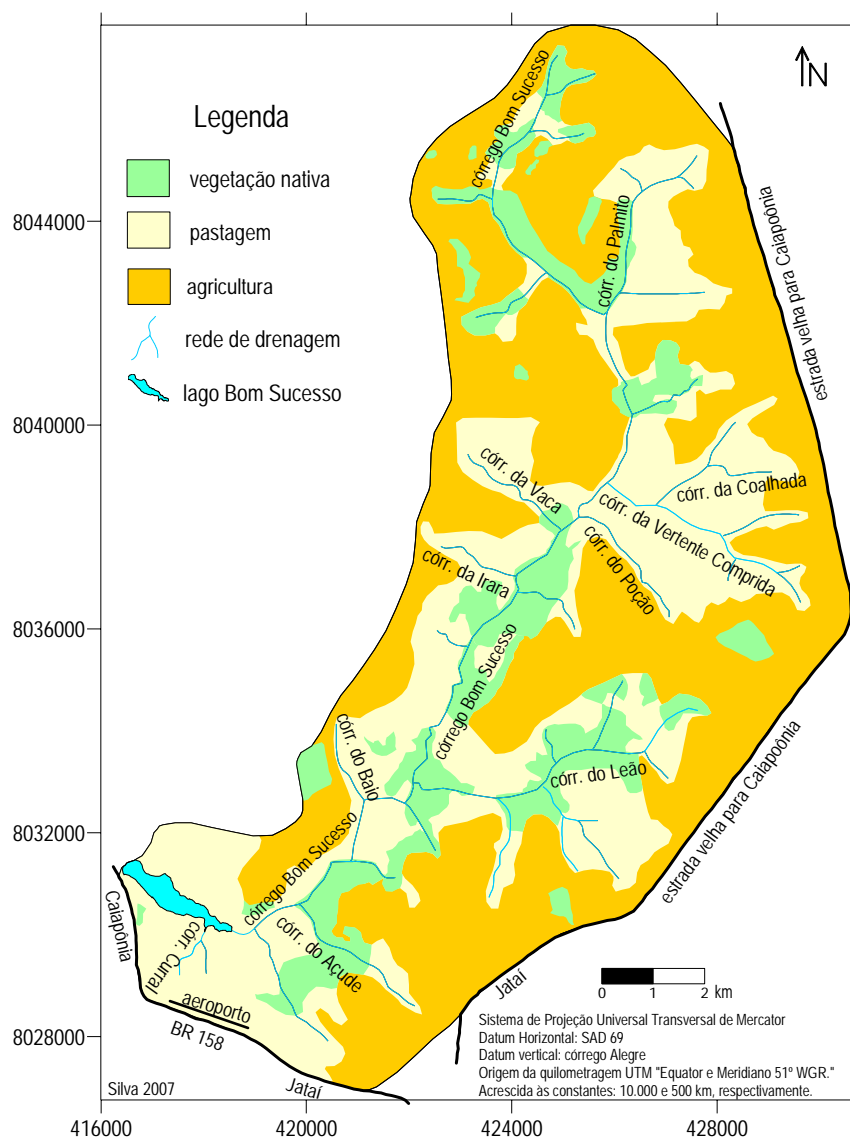
**Figura 24:** Mapa de solos da bacia. Adaptado de BRASIL (1983) e GOIÁS (2003).



**Figura 25:** A) LEd1 solos argilosos e espessos, local (coord.: 428738/8035484); B) AQd solos arenosos e inconsolidados, local (coord.: 4118013/8031104).

#### 4.1.6 Uso e ocupação do solo

O uso e ocupação do solo (figura 26) pelos cultivos e pastos correspondem da maior parte da bacia.



**Figura 26:** Mapa de uso do solo da área de estudos, interpretado de imagem LANDSAT TM (2004).

A ocupação por agricultura e pecuária promoveu a retirada da vegetação nativa, até a mata ciliar na maioria dos mananciais tributários. Tais modificações contribuem para aumento da erosão do solo e, conseqüentemente, o transporte de material particulado pela rede de drenagem, e posteriormente sua deposição no lago.

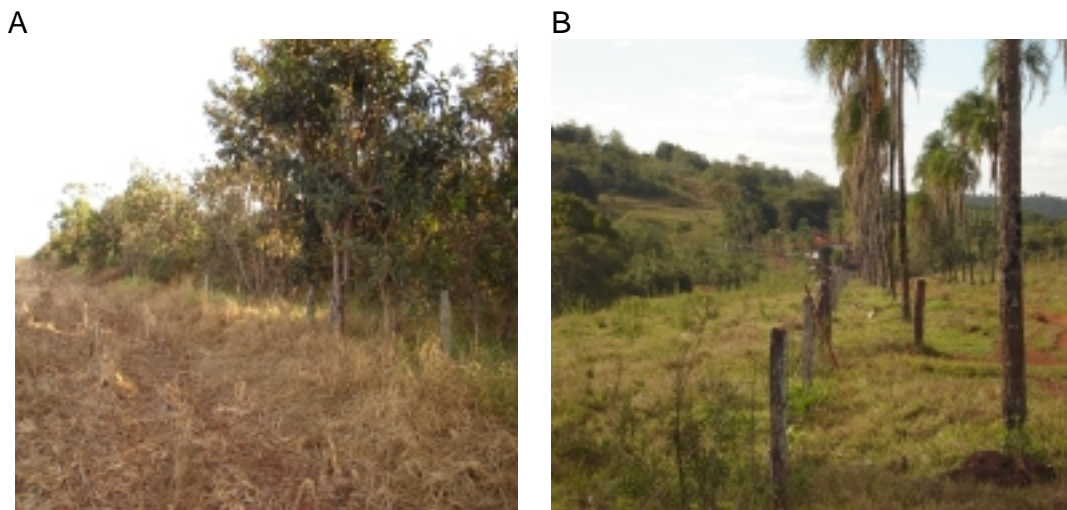
Hoje, a área desmatada para uso agricultura corresponde a cerca de 50%, enquanto que a vegetação nativa ocupa aproximadamente 15% bacia (quadro 9).

**Quadro 9:** Classificação do uso do solo da área de estudos, extraído (LANDSAT TM, 1994).

uso do solo	área (km <sup>2</sup> )	(%)
vegetação nativa	20,3	14,5
pastagem	73,7	34,8
agricultura	53,0	50,7
total	147	100

Nos relevos plano e suave-ondulados, situados no setor médio/alto da bacia, ocorriam com grande frequência as formações vegetais de vereda, matas abertas e cerrados (predominantemente). O avanço da agricultura mecanizada tem ocupado áreas de vegetação nativa (figura 27A) basicamente com cultivos de soja em latossolos argilosos.

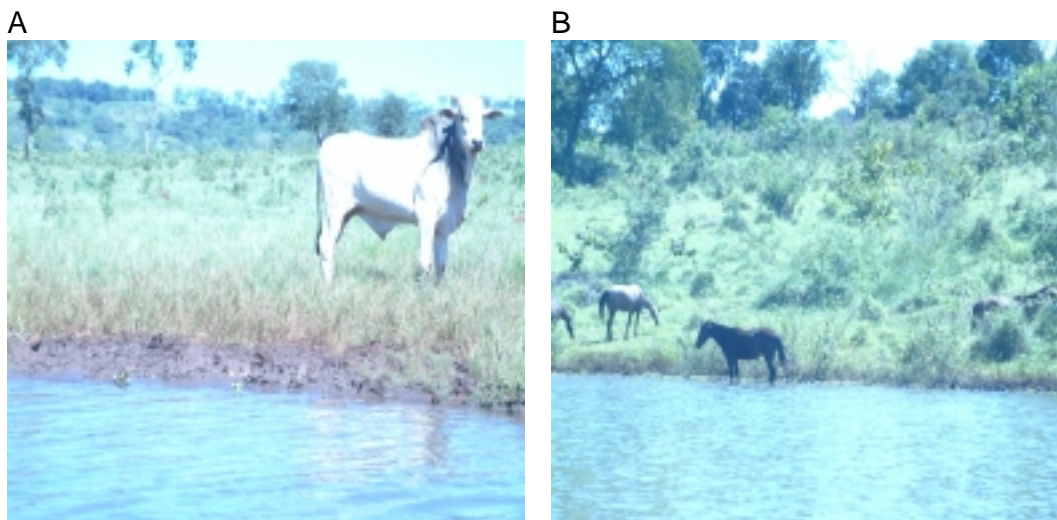
A atividade agropecuária economicamente dominante é a da cultura de soja, milho e sorgo, com duas safras anuais. A safra normal ocorre de outubro a janeiro. A “safrinha”, que utiliza o solo através do plantio direto, é realizada após a colheita da primeira safra. A agricultura ocupa 36,06% da área da bacia (quadro 9), a atividade pecuária com 34,8%. Esta última constitui-se basicamente de pastagem para criação de gado leiteiro e de corte (figura 27B).



**Figura 27:** **A)** Resultados do avanço da lavoura mecanizada ocupando espaço da vegetação nativa, próximo das antenas da Embratel, local (coord.: 428738/8035484); **B)** Áreas de pastagem para criação de animais, na margem esquerda do córrego Bom Sucesso, na parte médio da bacia, nas proximidades fazenda Buracão, local (coord.: 422607/80333973).

O sistema de criação de animais (gado e eqüinos) em pastos na bacia, e principalmente na área do lago Bonsucesso, causa a remoção de partículas do solo por pisoteamento nas margens do reservatório, quando se deslocam na busca de água para beber (figura 28A e 28B). Este é mais um processo que causa degradação das

margens do lago, provoca erosão, conseqüentemente contribui para assoreamento do lago.



**Figura 28: A e B)** Áreas nas margens do lago pisoteadas por animais, sujeitas á remoção de partículas.

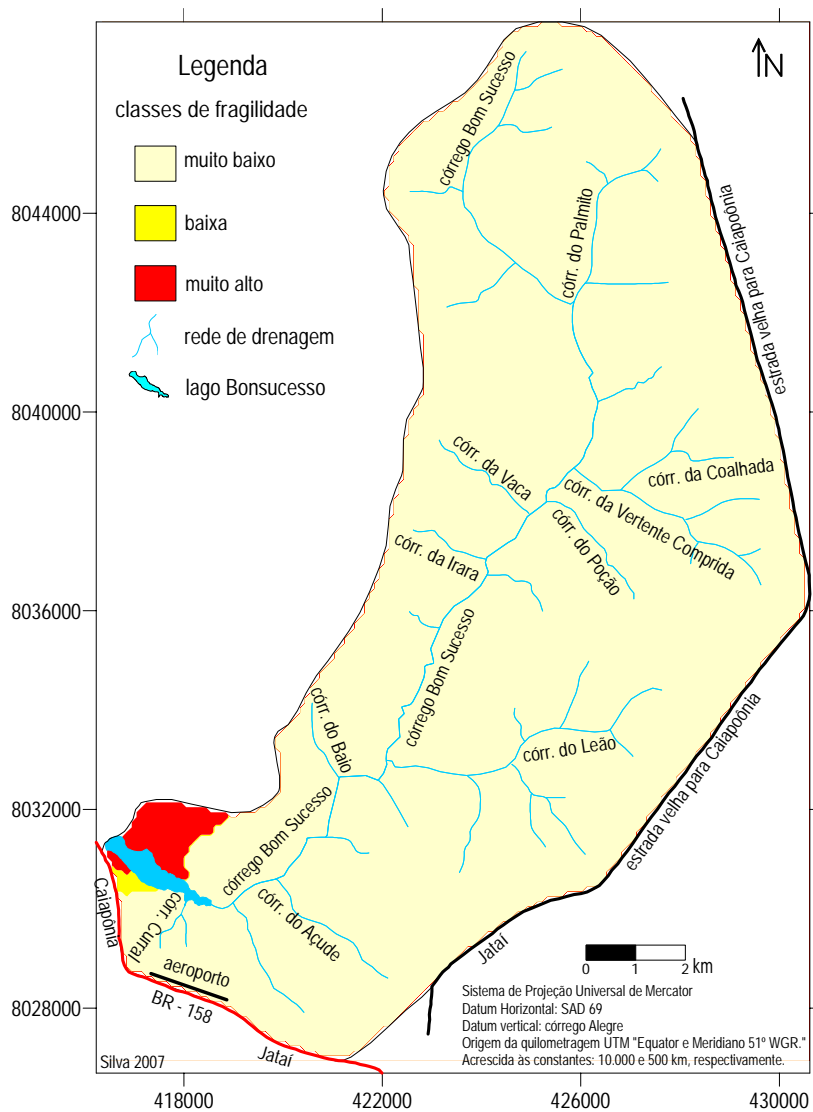
O uso do solo na bacia segue as determinações geomorfológicas e pedológicas. Os tipos de solo da região, em terreno plano e suave ondulado, propiciam o bom desenvolvimento das atividades agropecuárias, que ocupa cerca de 86% da área. Atualmente nas proximidades do lago está em fase de desenvolvimento o turismo.

#### 4.1.7 Fragilidade Ambiental da bacia

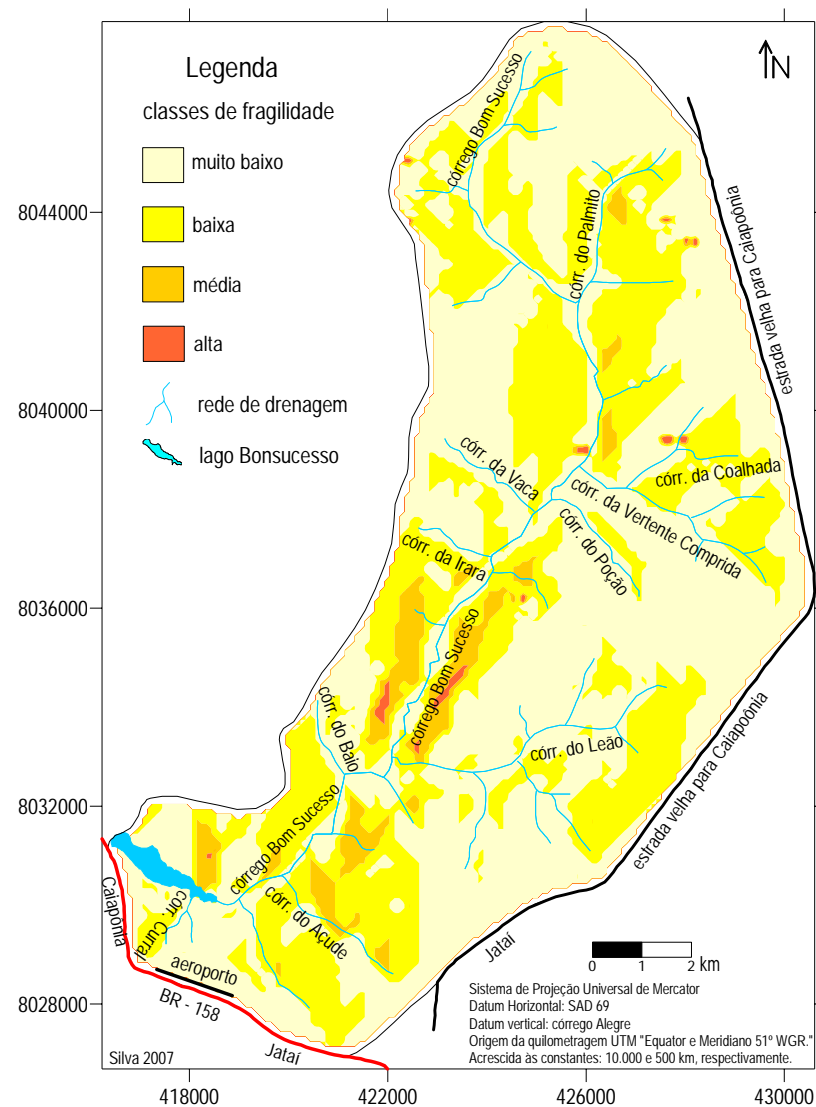
Para a determinação da fragilidade ambiental, nesta pesquisa foram analisados em parâmetros: solos, declividade e uso e ocupação do terreno. Tais parâmetros foram combinados em mapas temáticos. Os resultados foram os mapas de Fragilidade Potencial Erosivo e Fragilidade Emergente com as classes de fragilidade. A análise da fragilidade ambiental qualitativa da bacia visou identificar as possibilidades de áreas susceptíveis aos processos erosivos, prováveis fontes de contribuição do assoreamento do lago Bonsucesso.

##### 4.1.7.1 Fragilidade Potencial Erosivo

A correlação de dados de classes de fragilidade de solos (figura 29) com classes de declividade do terreno (figura 30), resultou no mapa de Fragilidade de Potencial Erosivo, que indica qualitativamente a potencialidade aos processos erosivos determinada pelas características naturais.



**Figura 29:** Mapa de classes de fragilidade com base nos tipos de solos.

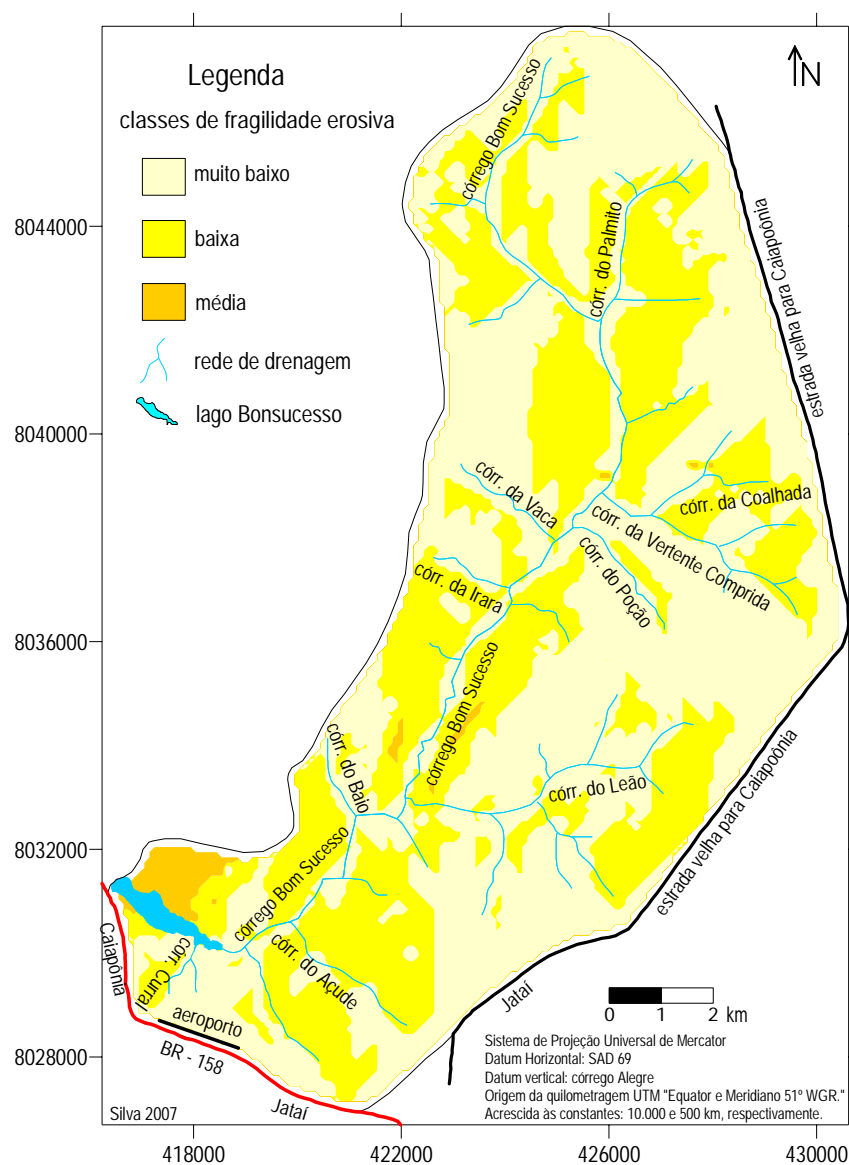


**Figura 30:** Mapa de classes de fragilidade com base na declividade terreno.

O mapa de Fragilidade de Potencial Erosivo (figura 31) resultou na determinação de três classes de fragilidade (quadro 10). Este mapa é produto da correlação das informações físico-naturais: solos e declividade do terreno. Permite identificar os locais de maior potencialidade a erosão.

**Quadro 10:** Classes de Fragilidade Potencial Erosivo e percentagem na área de estudos.

classes de Fragilidade Potencial Erosivo	percentagem na área de estudos
1 – muito baixa	53%
2 – baixa	45,3%
3– média	1,7%



**Figura 31:** Mapa de Fragilidade de Potencial Erosivo.

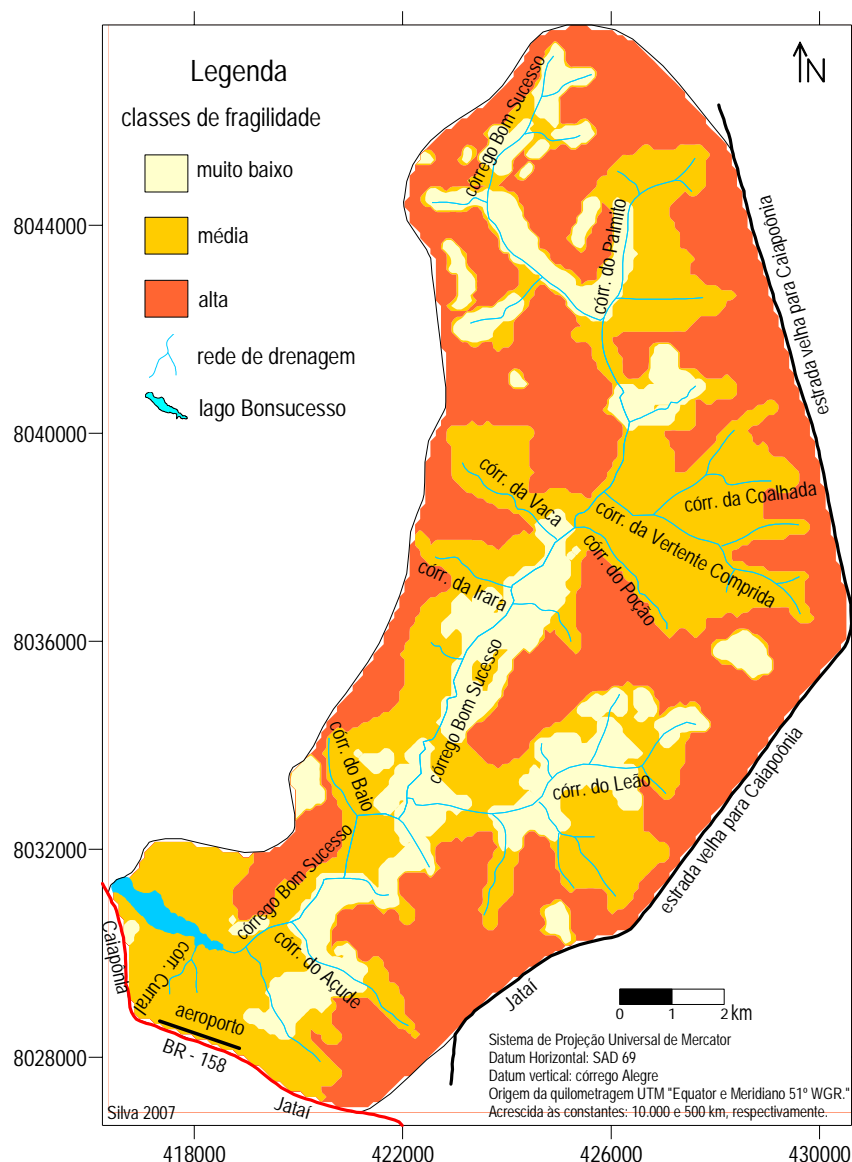
Pode ser constatado na figura 31, e pelo quadro 10, que a fragilidade potencialmente erosiva que corresponde da classe média se localiza em áreas de solos



arenosos e com a declividade acima de 20%, que corresponde à cerca de 1,7%, restrita a porção sudoeste da bacia. Observa-se também no mapa, o predomínio da classe muito baixa de fragilidade de potencial erosivo, isto se dá principalmente, devido a níveis baixos de declividade, entre 0 a 8% que atinge 98,3% da bacia.

#### 4.1.7.2 Fragilidade Emergente

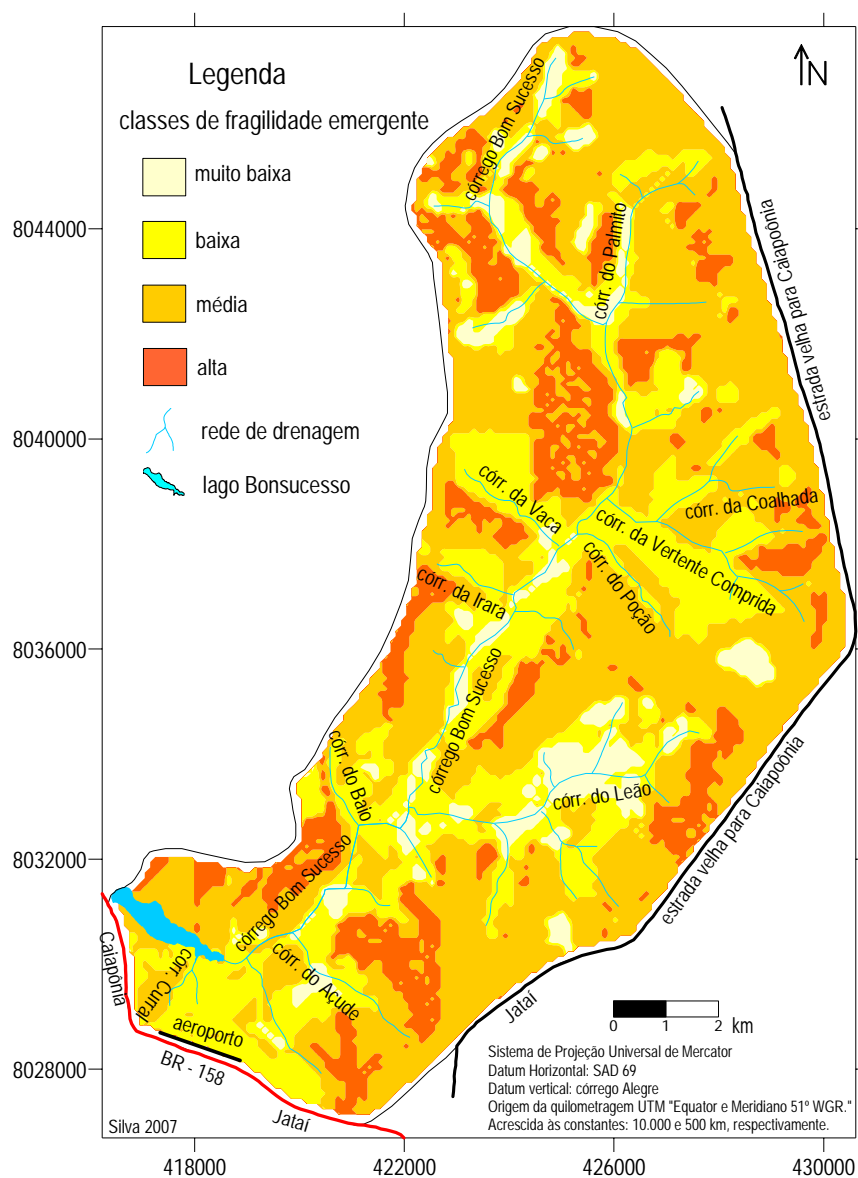
A situação de fragilidade mostrada no mapa de Fragilidade de Potencial Erosivo, correlacionado com o mapa de fragilidade do uso e ocupação do solo (figura 32), resulta no mapa de Fragilidade Emergente.



**Figura 32:** Mapa de classes de fragilidade do uso e ocupação solo.

As classes de fragilidade representadas no mapa de Fragilidade Emergente (figura 33), expressam os graus de instabilidade emergentes. Indicam as alterações

antrópicas no ambiente natural e no seu estado de equilíbrio, devido à ocupação do terreno.



**Figura 33:** Mapa de Fragilidade Emergente.

A bacia possui quatro classes de fragilidade emergente (quadro 11).

**Quadro 11:** Classes de Fragilidade Emergente e percentagem na área de estudos.

classes de fragilidade emergente	percentagem na área de estudos
1 – muito baixa	6%
2 – baixa	25%
3 – média	55%
4 – alta	14%

Pode ser observado no mapa de Fragilidade Emergente que a maior parte da bacia encontra-se na classe de fragilidade média, que corresponde a 55%, localizada



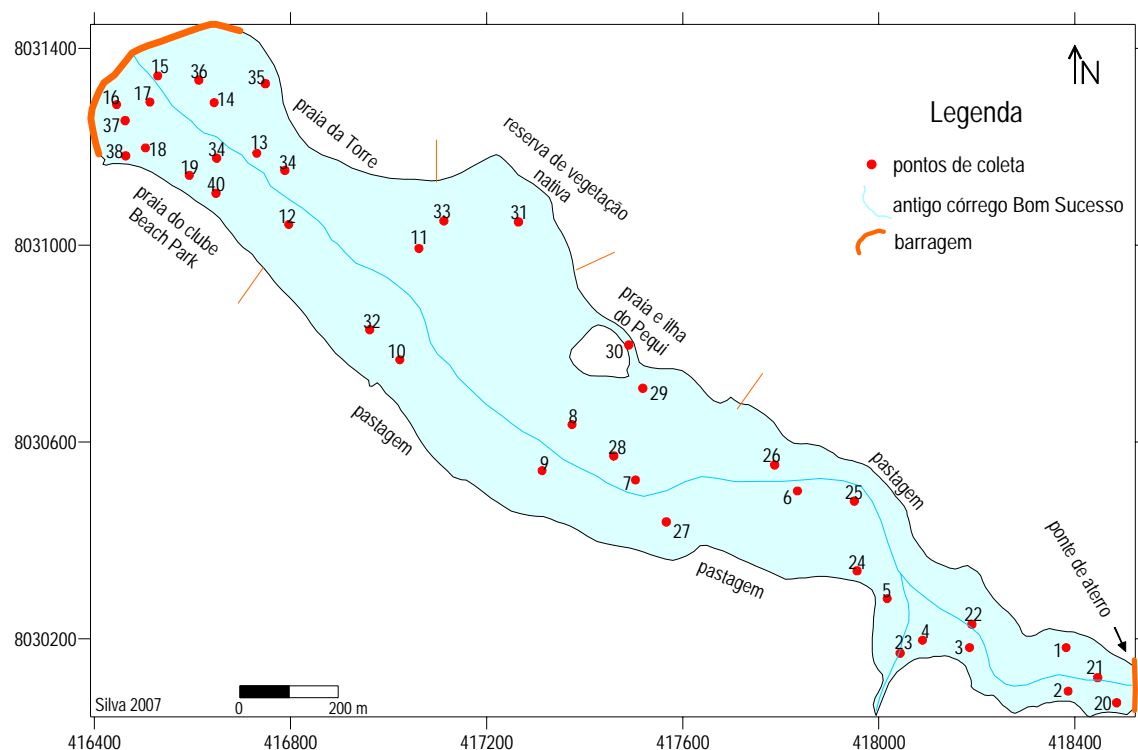
nas porções das áreas de agricultura. As áreas de pastagem representadas pela classe de fragilidade média em solos arenosos incluem-se na classe de fragilidade muito alta. Em seguida, 25% da bacia correspondem a classe de fragilidade baixa nas porções onde predominam as pastagens.

As classes de fragilidades média e alta expressadas no mapa de Fragilidade Emergente indicam instabilidade ambiental, verificadas em pontos de maior atuação antrópica na bacia, principalmente nas áreas agropastoris.

Nas áreas de agricultura e pastagem predominam as rochas basálticas, sendo que os solos que recobrem, os latossolos, resistem aos processos erosivos. Uma cobertura vegetal inapropriada e com uma declividade acentuada, estes locais serão susceptíveis aos processos erosivos.

## 4.2 Caracterização granulométrica dos sedimentos de fundo

Os depósitos de fundo do lago foram amostrados com draga de Peterson e “CLS”, nos locais apresentados na figura 34.



**Figura 34:** Localização dos locais de coleta de sedimentos de fundo.

As 38 amostras draga foram analisadas por pipetagem e peneiramento. Os resultados das análises granulométricas foram processados no programa Sysgran 2.4 (Camargo 1999), que obteve os parâmetros granulométricos, conforme a proposta de

Folk & Ward (1957), assim como a composição granulométrica dos sedimentos (tabela 3).

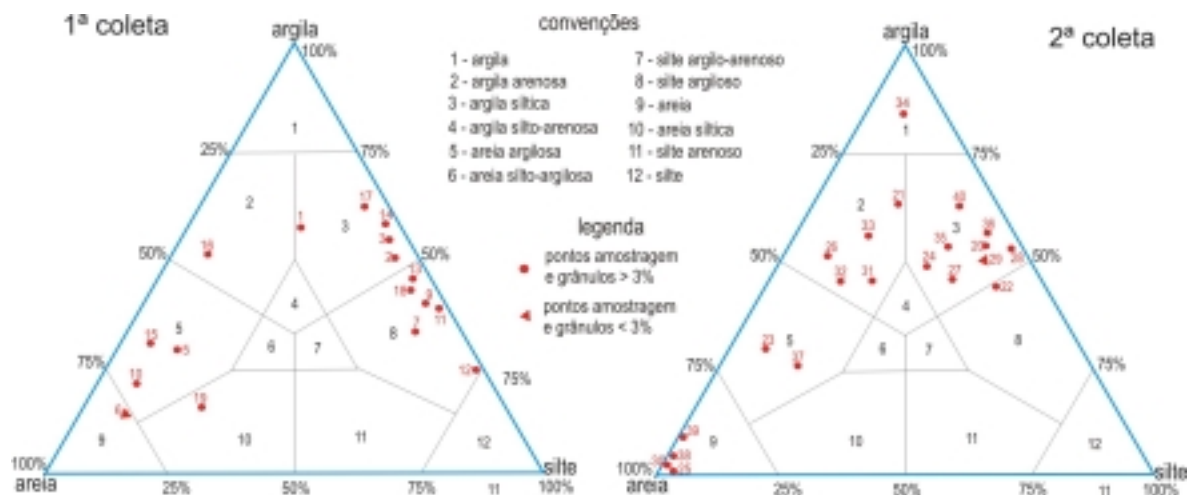
**Tabela 2:** Parâmetros e distribuição em classes granulométricas das amostras coletas com draga.

pontos de amostragem	coordenadas UTM		classificação dos sedimentos em (Ø)			classes granulométricas em %			
	long.	lat.	média	seleção	assimetria	grânulo	areia	silte	argila
1	418382	8030182	6.64	2.47	-0.78	0.45	20.17	23.28	56.09
2	418386	8030093	7.30	1.68	-0.57	0.00	7.10	45.22	47.68
3	418185	8030182	7.45	1.51	-0.62	0.00	4.21	42.34	53.45
4	418088	8030197	amostra insuficiente						
5	418017	8030281	4.82	2.46	0.68	0.43	59.17	11.73	28.66
6	417834	8030500	1.39	2.49	0.10	12.65	74.75	4.38	8.21
7	417504	8030523	6.33	1.93	-0.02	0.00	9.95	57.25	32.80
8	417373	8030635	amostra insuficiente						
9	417313	8030542	6.92	1.66	-0.32	0.00	4.80	56.02	39.18
10	417023	8030767	4.32	2.63	0.72	0.00	71.78	8.21	20.02
11	417062	8030993	7.18	1.50	-0.42	0.00	2.12	59.63	38.26
12	416796	8031042	6.71	1.68	-0.32	0.00	2.90	69.49	27.61
13	416731	8031187	6.68	1.87	-0.30	0.00	5.61	50.20	44.19
14	416644	8031290	7.45	1.47	-0.63	0.00	3.55	40.15	56.30
15	416529	8031344	4.47	2.68	0.71	0.00	64.05	5.99	29.97
16	416445	8031286	4.82	2.71	0.47	0.00	51.29	7.92	40.79
17	416513	8031291	7.29	1.75	-0.71	0.00	5.99	32.98	61.03
18	416504	8031198	7.00	1.69	-0.44	0.00	4.79	52.78	42.43
19	416593	8031142	3.33	1.77	0.57	0.00	61.71	23.67	14.61
20	418485	8030070	6.90	2.19	-0.78	0.00	19.63	17.23	63.14
21	418447	8030121	7.54	1.74	-0.56	2.54	8.49	40.44	48.52
22	418190	8030229	7.04	1.80	-0.49	0.00	9.92	46.47	43.61
23	418044	8030171	4.44	2.71	0.69	0.00	62.97	7.59	29.45
24	417956	8030338	6.66	2.40	-0.70	0.00	20.26	31.04	48.70
25	417950	8030480	2.51	0.48	-0.23	0.05	97.96	1.50	0.49
26	417787	8030553	6.22	2.63	-0.61	0.00	41.13	11.24	47.63
27	417566	8030437	6.70	2.19	-0.61	0.00	17.83	36.23	45.94
28	417459	8030572	7.60	1.26	-0.53	0.00	2.50	45.48	52.02
29	417518	8030709	2.38	0.48	-0.26	0.00	99.50	0.40	0.10
30	417490	8030797	1.25	0.15	0.00	0.00	99.91	0.03	0.06
31	417265	8031047	6.44	2.30	-0.53	0.00	33.63	21.00	45.37
32	416961	8030828	5.81	2.88	-0.50	0.00	41.01	14.37	44.62
33	417113	8031049	6.70	2.33	-0.76	0.00	29.10	15.31	55.59
34	416788	8031152	4.51	2.63	0.68	0.00	58.70	16.27	25.03
35	416749	8031328	7.45	1.57	-0.63	0.00	6.51	40.58	52.91
36	416613	8031336	7.05	2.00	-0.71	0.00	15.06	32.01	52.93
37	416463	8031253	8.34	1.17	-0.49	0.00	8.80	8.19	83.01
38	416464	8031182	2.99	0.71	0.22	0.20	94.67	0.45	4.69
39	416648	8031106	2.72	1.39	0.37	0.00	90.00	1.46	8.54
40	416649	8031177	7.69	1.48	-0.66	0.00	7.93	29.96	62.10

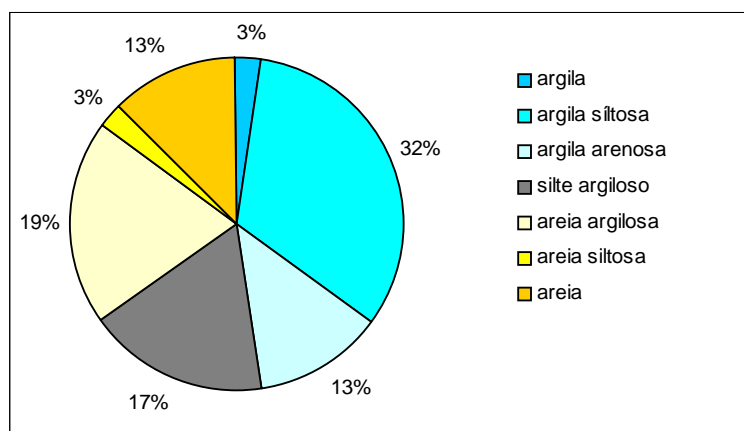
#### 4.2.1 Classificação dos sedimentos

Na apresentação dos resultados das análises granulométricas utilizou-se o diagrama de Shepard (1954), na figura 35.

Nas análises granulométricas, verificou-se que 48% dos sedimentos amostrados são argilosos, e predominam no interior do lago. Os sedimentos arenosos correspondem a 35% e siltosos 17% das amostras (figura 36).



**Figura 35:** Resultados das análises granulométricas, segundo classificação de Shepard (1954).



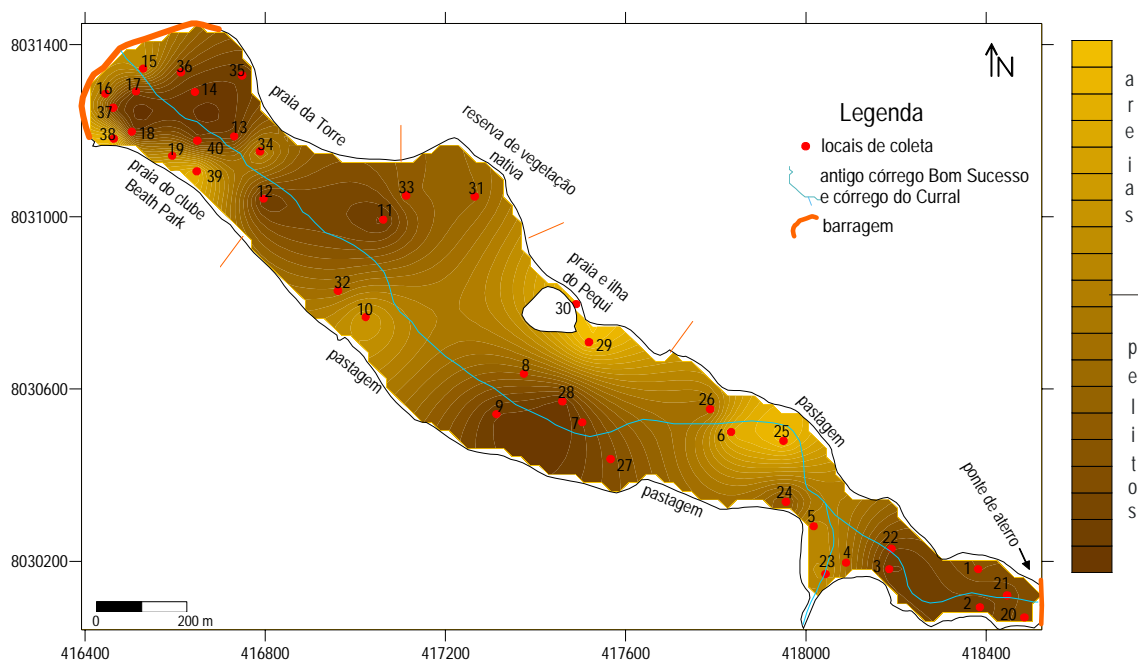
**Figura 36:** Diagrama dos resultados granulométricos, conforme a classificação de Shepard (1954).

#### 4.2.2 Distribuição dos resultados granulométricos

As características e parâmetros texturais dos sedimentos ao interior do lago são apresentadas em diagramas e mapas. Os mapas foram gerados pelo método de interpolação linear – krigagem no *Software Surfer 8.0*, correspondentes à relação areias e pelitos, diâmetro médio, seleção e grau de assimetria.

##### 4.2.2.1 Distribuição de areias e pelitos

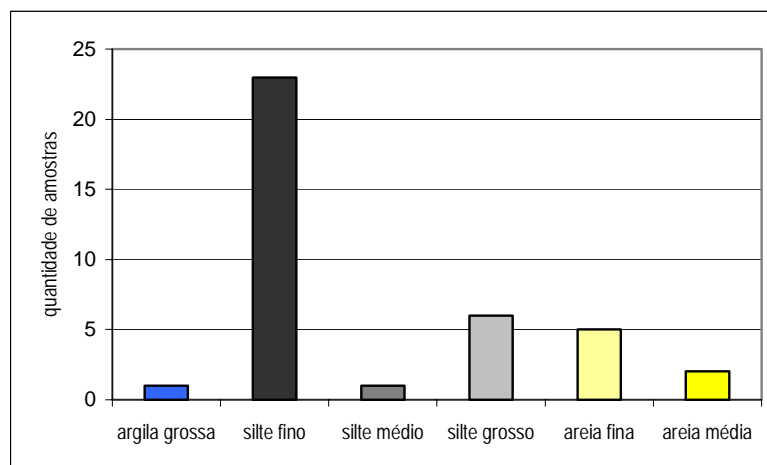
A distribuição de areias e pelitos (figura 37) permite verificar tendências de distribuição do material de assoreamento. Os valores das classes granulométricas de areias (areias + grânulos) de pelitos (siltes + argilas), exibida em mapa, revela que existem alguns locais de maior teor de sedimentos arenosos (média à fina), como nas proximidades da praia do Pequi (ponto 29), do ponto 25 e praia do clube *Thermas Beach Park*, nos pontos 19 e 29.



**Figura 37:** Distribuição de areias e pelitos no lago.

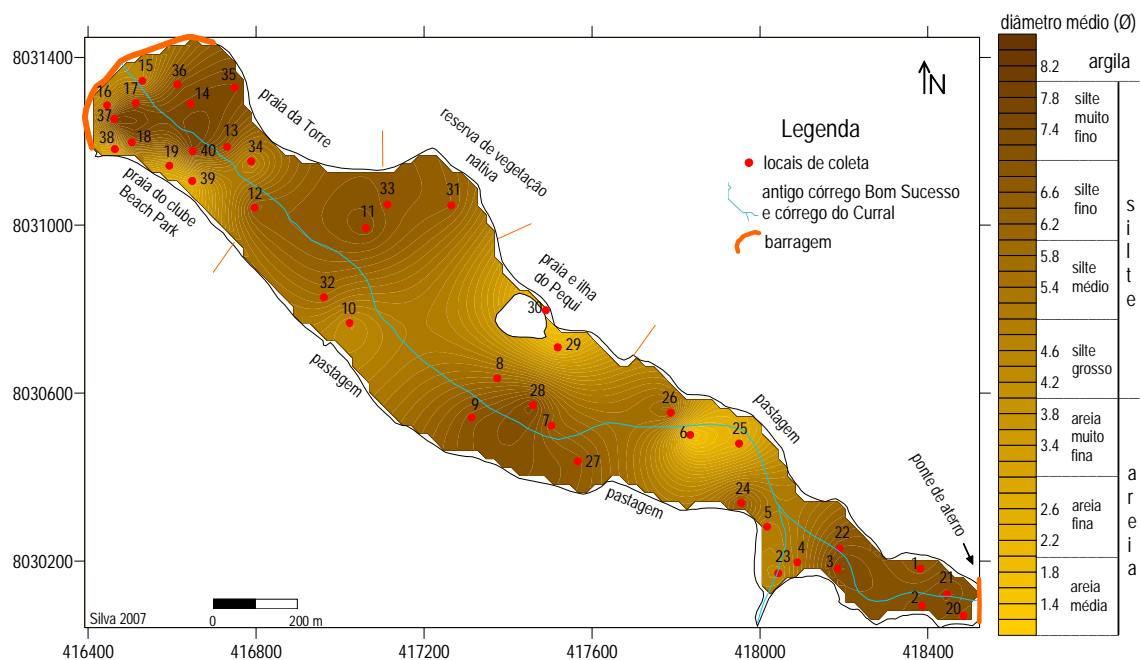
#### 4.2.2.2 Diâmetro médio

Dentre 30 amostras de sedimentos analisados, duas são areia média, cinco são areia muito fina. As demais são as que predominam no interior do lago (figura 38).



**Figura 38:** Resultados de análises granulométricas, de acordo com o diâmetro médio.

Verifica-se que as areias encontram-se no interior do reservatório. As mais grossas ocorrem pouco abaixo de encontro dos córregos Bom Sucesso e Curral (ponto 25), nas proximidades da praia do Pequê (ponto 29 e 30) e praia do clube *Thermas Beach Park* (pontos 19 e 39). Os siltes e argila predominam mais à montante (pontos 2, 20 e 21), na margem esquerda (pontos 9, 27 e 28), próxima a mata (pontos 11, 31 e 33) e a jusante (pontos 14, 17 e 36), figura 39.



**Figura 39:** Mapa com distribuição dos valores de diâmetro médio dos depósitos amostrados.

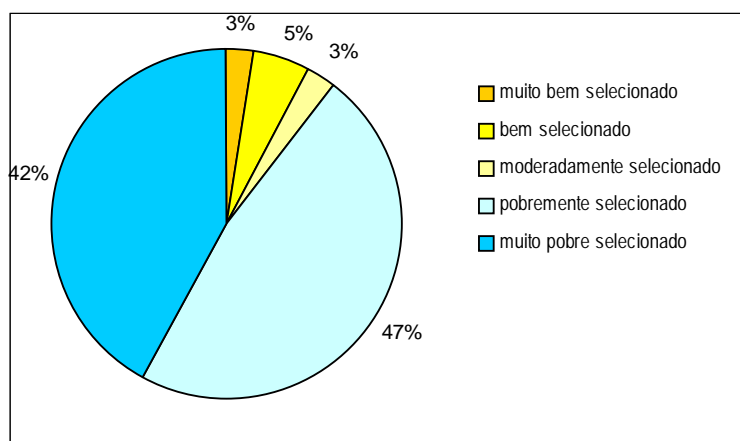
#### 4.2.2.3 Seleção

O grau de seleção pode refletir o modo de transporte de partículas. A escala verbal utilizada neste trabalho para descrição do grau de seleção de sedimentos seguiu a proposta de Folk & Ward (1957), apresentada no quadro 12.

**Quadro 12:** Escala verbal para grau de seleção de sedimentos, segundo as medidas de dispersão (desvio padrão da curva granulométrica).

desvio padrão ( $\sigma$ )	classes de seleção
menor que 0,35	muito bem selecionada
0,35 – 0,50	bem selecionada
0,50 – 1,00	moderadamente selecionada
1,00 – 2,00	pobremente selecionada
2,00 – 4,00	muito pobremente selecionada
maior que 4,00	extremamente mal selecionada

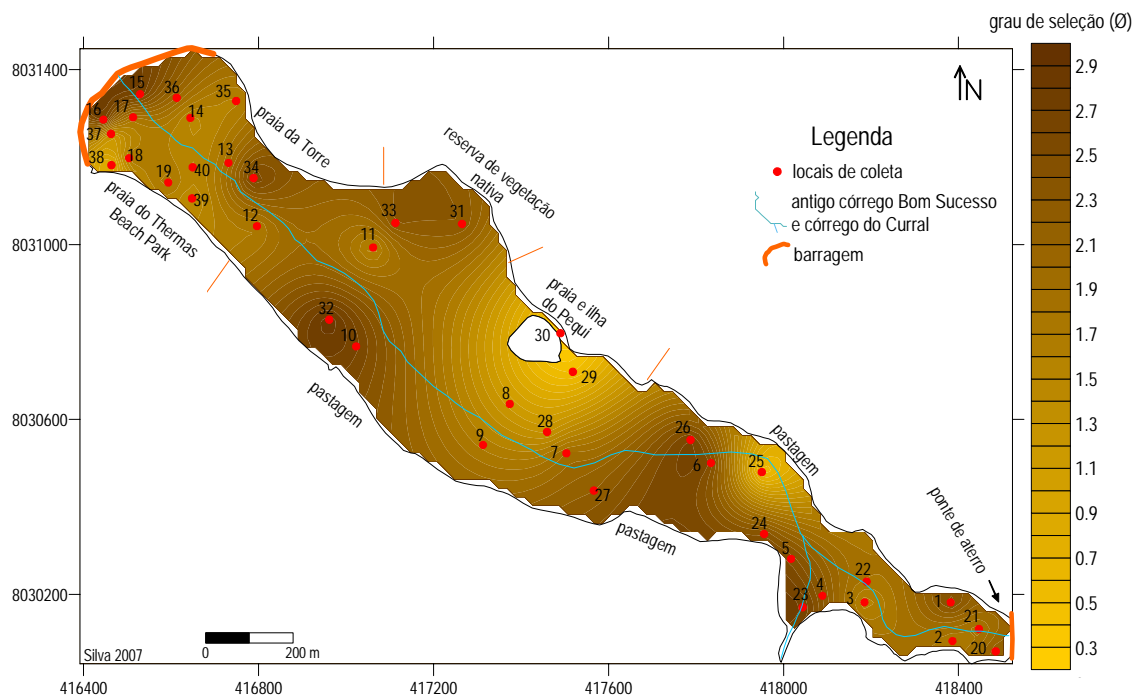
Considerando-se os resultados obtidos na análise das 38 amostras, verificou-se que 40% são muito pobremente selecionados e 44% são classificadas como pobremente selecionadas (figura 40). Em menor porcentagem, as classes moderadamente, bem e muito bem selecionado correspondem a 11% dos sedimentos amostrados.



**Figura 40:** Diagrama com resultado do grau de seleção dos sedimentos amostrados (38 amostras).

Foi verificado que os sedimentos muito bem selecionados, bem selecionados e moderadamente selecionados, correspondem aos materiais mais grossos (areias), com destaque para os provenientes dos pontos 19, 25, 29, 30 e 39. Possivelmente isto se deve ao fato de que a fonte pode ter sido a Formação Botucatu, que possui arenitos, geralmente bem selecionados.

Os sedimentos pobremente selecionados e muito pobremente selecionados são silte e argila, predominam no interior do lago à montante e parte central (figura 41).



**Figura 41:** Mapa dos resultados granulométricos, de acordo com a seleção.

#### 4.2.2.4 Assimetria

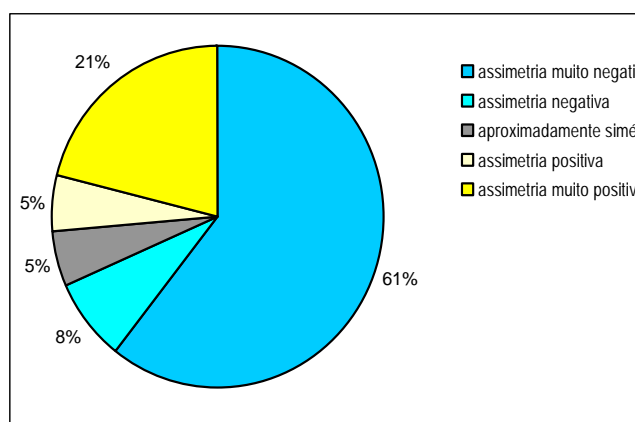
Na assimetria das curvas granulométricas avalia-se o afastamento entre os valores de diâmetro médio e da mediana de uma amostra. Considera-se uma distribuição normal ou perfeitamente simétrica, quando coincide entre o diâmetro médio e a mediana. Caso a curva granulométrica apresente uma cauda longa para a direita da ordenada máxima, diz-se que a distribuição possui assimetria positiva, com predomínio de material fino. Quando a curva apresenta cauda longa para a esquerda da ordenada máxima, diz-se que a distribuição possui assimetria negativa, com predomínio de material grosso.

Os valores de diversas freqüências, de acordo com diâmetros (em Ø) estabelecidos, são obtidos a partir da curva de distribuição granulométrica. Uma escala verbal para descrição do grau de assimetria de curvas granulométricas dos sedimentos é apresentada no quadro 13.

**Quadro 13:** Escala verbal do grau de assimetria dos sedimentos, segundo Folk & Ward (1957) *apud* Suguio (1973).

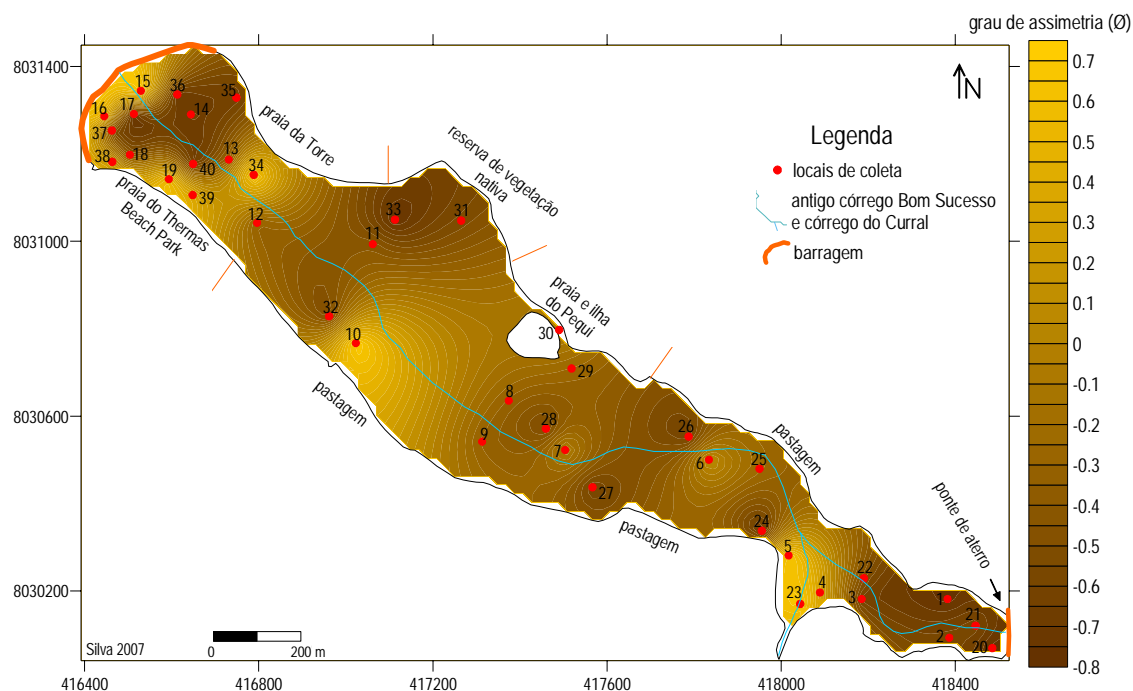
grau de assimetria em (Ø)	classes
- 1,00 a - 0,30	assimetria muito negativa
- 0,30 a - 0,10	assimetria negativa
- 0,10 a - 0,10	aproximadamente simétrica
0,10 a 0,30	assimetria positiva
0,30 a 1,00	assimetria muito positiva

A classificação das 38 amostras quanto à assimetria mostra que 82% do material analisado possui desvios da normalidade, apresentados pela assimetria muito negativa, com 61% e assimetria negativa com 21% (figura 42). A amostra 7 tem curva aproximadamente simétrica e a amostra 6 tem curva de assimetria positiva.



**Figura 42:** Diagrama dos resultados granulométricos, de acordo com a assimetria, para as 38 amostras.

Verificou-se nos resultados granulométricos das 38 amostras que o grau de assimetria no interior do lago estão de forma irregular, tendo um predomínio da assimetria negativa que mostra desvio da normalidade, no sentido das granulações grossas em cada amostra (figura 43).



**Figura 43:** Mapa dos resultados granulométricos, de acordo com a assimetria.

#### 4.2.3 Composição granulométrica de solos das proximidades do lago

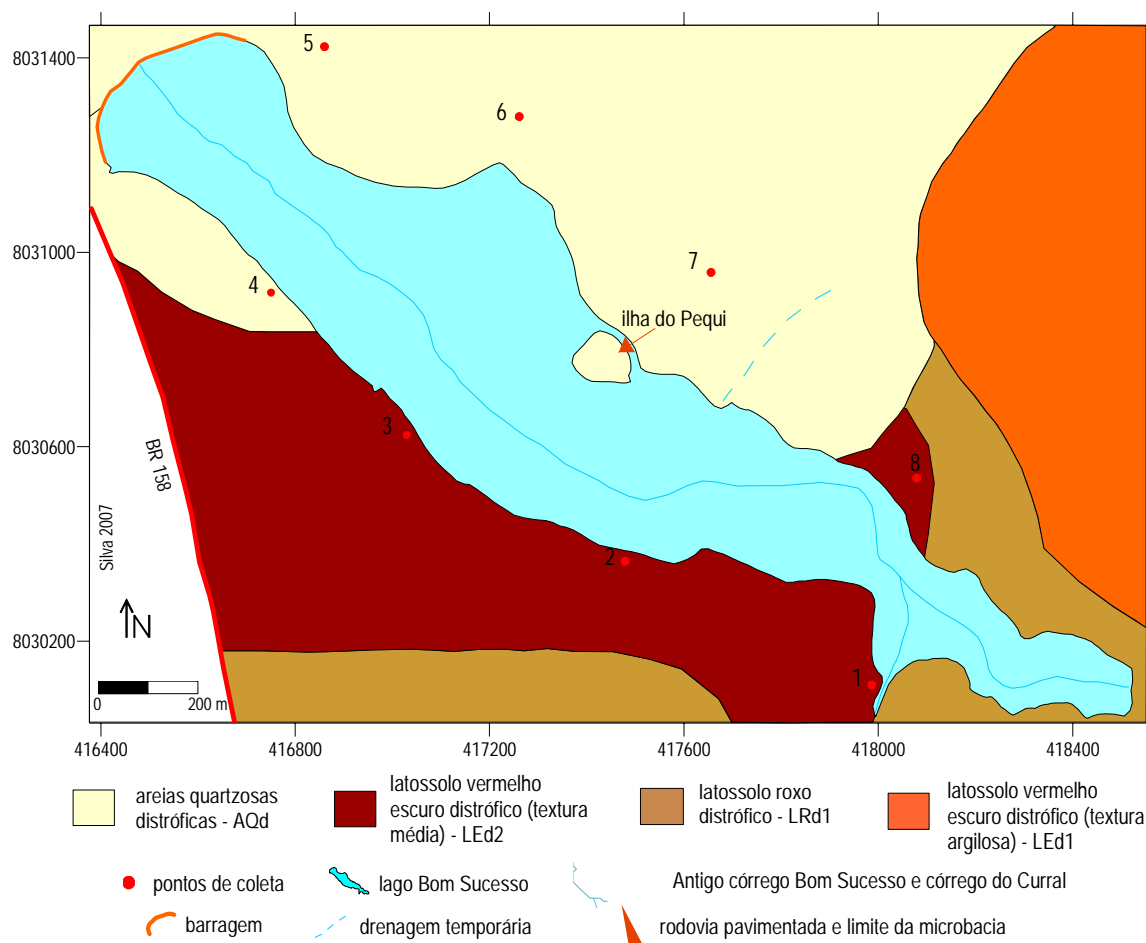
Adicionalmente, apenas para obter dados qualitativos para comparação, foram realizadas análises granulométricas de amostras da porção superior de perfis de solos nas proximidades do reservatório (figura 44).

Os resultados obtidos são resumidos na tabela 3.

**Tabela 3:** Classes granulométricas obtidas das análises granulométricas de solos.

pontos de amostragem	coordenadas UTM		classes granulométricas em %		
	lat.	long.	areia	silte	argila
1	417983	8030113	53,14	8,57	38,29
2	417479	8030369	63,19	12,14	24,67
3	417027	8030623	73	5,30	21,7
4	416748	8030920	93,04	0,62	6,34
5	416862	8031424	94,26	5,21	0,53
6	417260	8031283	95,52	0,77	3,71
7	417656	8030956	98,55	0,28	1,17
8	418079	8030533	43,97	21,06	34,97





**Figura 44:** Mapa e pontos de coletas de solos nas proximidades do lago.

#### 4.2.4 Análise de mineralogia dos pelitos

As análises granulométricas indicam haver grande quantidade de silte, mesmo em depósitos supostamente oriundos da alteração de rochas basálticas (figura 38). Decidiu-se então verificar a hipótese de que partículas de silte poderiam tratar-se de material argiloso aglutinado por óxidos/hidróxidos de ferro, nos processos intempéricos e/ou pedogenéticos. Foram realizadas análises de difratometria e fluorescência de raios X de amostras escolhidas, e posteriormente, então microscopia eletrônica de varredura (MEV) para verificar aglutinação em partículas de argila por de elementos de ferro (óxidos e hidróxidos).

A área de estudos possui predomínio dos latossolos, de origem da alteração das rochas basálticas. Portanto. Para as análises foram separadas quatro amostras (20, 22, 9 e 12, localização, vide figura 34), quais são procedentes do interior do lago Bonsucesso, onde o predominam de material silte-argilosos de provável contribuição de alteração de basaltos. Estes pontos localizam-se mais na parte à montante e média do lago, pois é nesta área que há deposição de materiais finos.

Para verificar a composição química do material e especialmente obter a porcentagem de ferro, foi feita a análise de fluorescência de raios X. Os elementos mais frequentes constatados nas análises foram  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (tabela 4).

**Tabela 4:** Percentagem dos compostos químicos em cada amostra analisada.

pontos de amostragem	elementos químicos principais em (%)					soma dos elementos considerados secundários (ppm)
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	CaO	
20	38,44	20,19	17,92	4,22	0,18	19,05
22	33,30	21,28	17,83	3,81	0,35	23,43
9	55,07	19,97	14,55	3,82	0,06	6,53
12	34,32	22,40	19,26	4,41	0,18	19,43

Os elementos considerados secundários, como:  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  apresentaram em pequenas porcentagens nas análises de fluorescência de raios X. Os demais elementos possuem quantidade em partes por milhão (ppm), foram: Ba, Cl, Cu, Zr, Ni, Th, dentre outros. O quadro 14 apresenta a composição mineralógica do material amostrado.

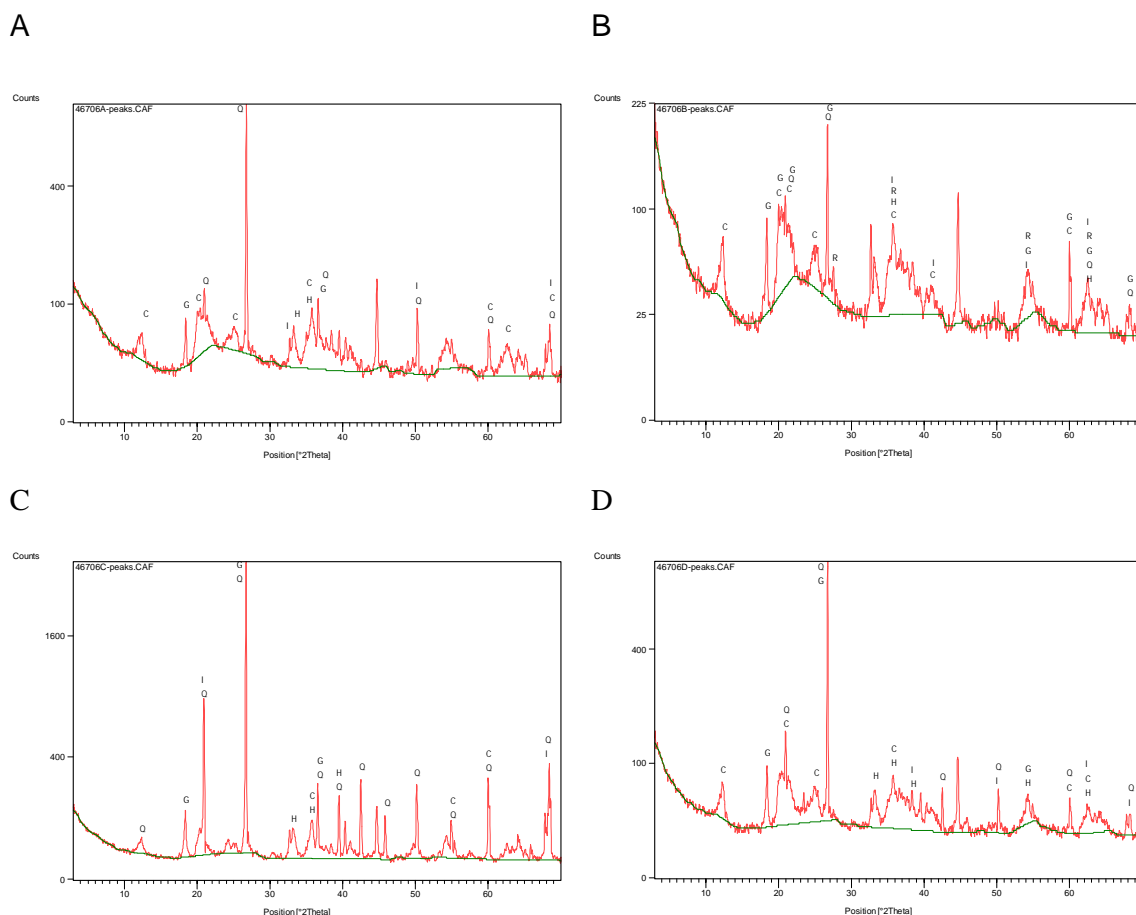
**Quadro 14:** Composição cristalográfica das análises de fluorescência de raios X.

referência Code do software X'Pert Highscore	fórmulas químicas	tipos de minerais
83-2187	$\text{SiO}_2$	quartzo
01-0527	$\text{Al}_2\text{SiO}_2(\text{OH})_4$	caulinita
07-0324	$\text{Al}(\text{OH})_3$	gibbsita
01-1053	$\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_5$	hematita
89-2911	$\text{FeTiO}_3$	ilmenita
01-1292	$\text{TiO}_2$	rutilo

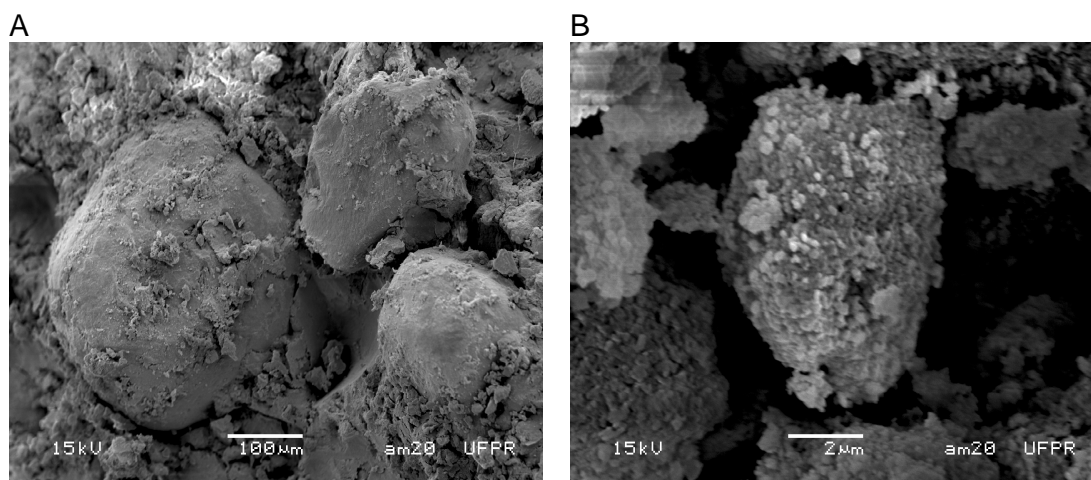
Os principais minerais identificados nas quatro amostras foram: quartzo (Q), caulinita (C), gibbsita (G), hematita (H), ilmenita (I) e rutilo (R), como apresenta a figura 45A, 45B, 45C e 45D.

Os difratogramas mostram valores nas reflexões basais com tênues (variações na cor vermelha em relação a base na cor verde) relevantes para os minerais quartzo e gibbsita. Em menores valores os minerais de caulinita, hematita, Ilmenita e rutilo.

Em análises realizadas com MEV conforme o tamanho da imagem, o aumento varia de  $100\mu\text{m}$  (figura 46A) em partículas de areia com matriz de argila, a  $2\mu\text{m}$  (figura 46B) pode ser verificado aglutinações de partículas de argila encontrados nas amostras 20, 22, 9 e 12. Isto demonstra a alta porcentagem de silte encontrado em materiais silte argilosos sedimentados no fundo do lago Bonsucesso, provavelmente seja de aglutinação de partículas argilosas por óxidos/hidróxidos de ferro, oriundos da decomposição de rochas basálticas.



**Figura 45A, B, C e D:** Difratogramas de raios X de sedimentos da fração silte-argiloso, com respectivos pontos amostrados.



**Figura 46: A)** Partículas de areia em matriz argilosa; **B)** Partícula composta por argilominerais aglutinados por óxidos/hidróxidos de ferro.

#### 4.2.5 Análise dos perfis verticais

No registro da descrição de fácies foram utilizadas siglas compostas por duas letras, semelhante à proposta por Miall (1990) para depósitos fluviais. A inicial,

maiúscula, corresponde à classificação granulométrica do sedimento. A minúscula seguinte refere-se à subdivisão da granulação, estrutura sedimentar ou alguma outra característica importante da fácies descrita (quadro 15).

Os critérios para descrição das litofácies e interpretação dos processos formadores dos depósitos também se basearam em trabalhos desenvolvidos por Stevaux (1993) e Rubin (2002), adaptados para ambiente lacustre (quadro 16).

A descrição dos testemunhos (anexos 1: A, B, C, D e E) foi feita por comparação visual, com uso de escala granulométrica de Wentworth (1922) *apud* Coimbra *et al.* (1999). Na análise das 38 amostras foram consideradas granulação, cor, textura e estruturas sedimentares, assim como a espessura dos estratos.

**Quadro 15:** Siglas utilizadas para descrição dos sedimentos de fundo do lago Bonsucesso.

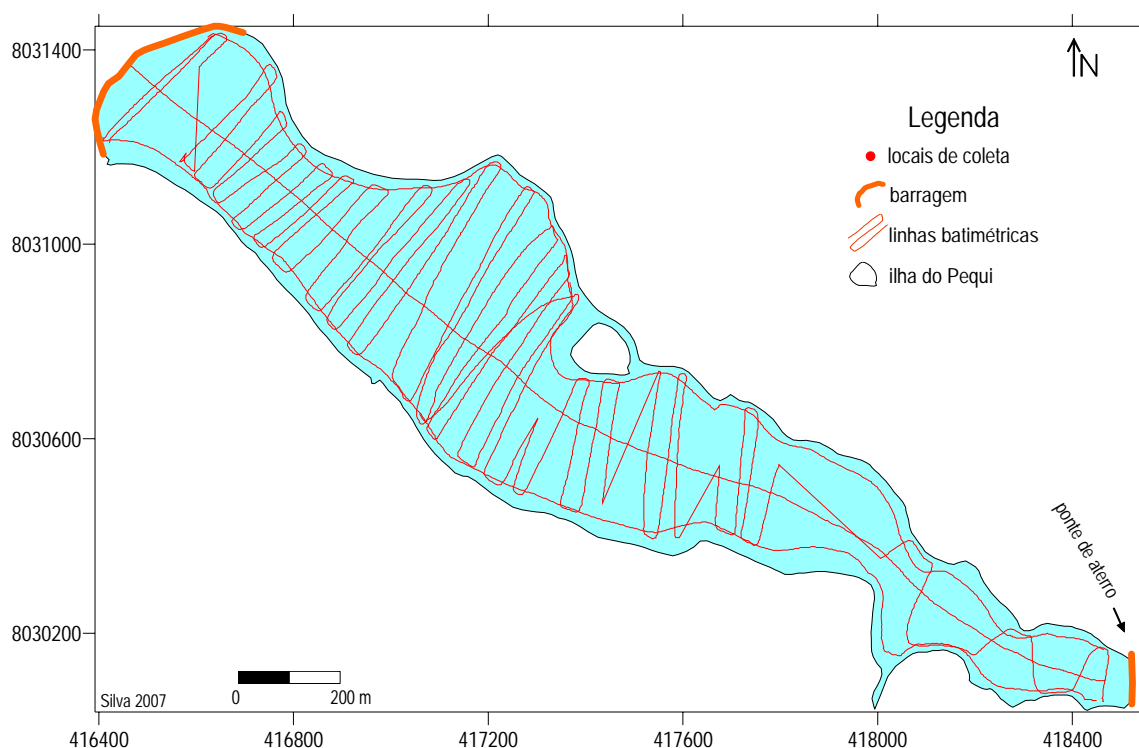
sigla	constituição
F	argila e silte
S	areia
s	areia muito fina a silte
f	areia fina a muito fina
m	areia média a fina
G	grânulos
m	maciça (estrutura sedimentar)
o	com matéria orgânica
t	com material tecnogeno

**Quadro 16:** Critérios utilizados na descrição visual dos perfis verticais, adaptados de Stevaux (1993) e Rubin (2002) para ambientes de reservatório.

igla	litofácies
m	cascalho maciço ou com estratificação mal definida.
(Gt)	areia média a silte com grãos arredondados e bem arredondados, com concreção ferruginosa (menos de 30%).
m	areia média a fina, com estratificação plano-paralela, cor amarelada a avermelhada, grãos arredondados e bem arredondados
f	areia fina a areia muito fina, maciça e estratificação plano-paralela, cor marrom amarelado a avermelhado.
s	areia muito fina a silte, cor marrom avermelhado a amarelo. Às vezes contém matéria orgânica (raízes de vegetação rasteira).
m	silte e argila, com eventuais intercalações de areia muito fina, maciça, nódulos de argila, cores entre marrom amarelado a vermelho.
m(o)	silte e argila (às vezes com mais de 50% de argila). Maciço, cores cinza e preto. Presença de matéria orgânica (restos vegetais). Às vezes ocorrem concreções ferruginosas na base com estratificação cruzada.

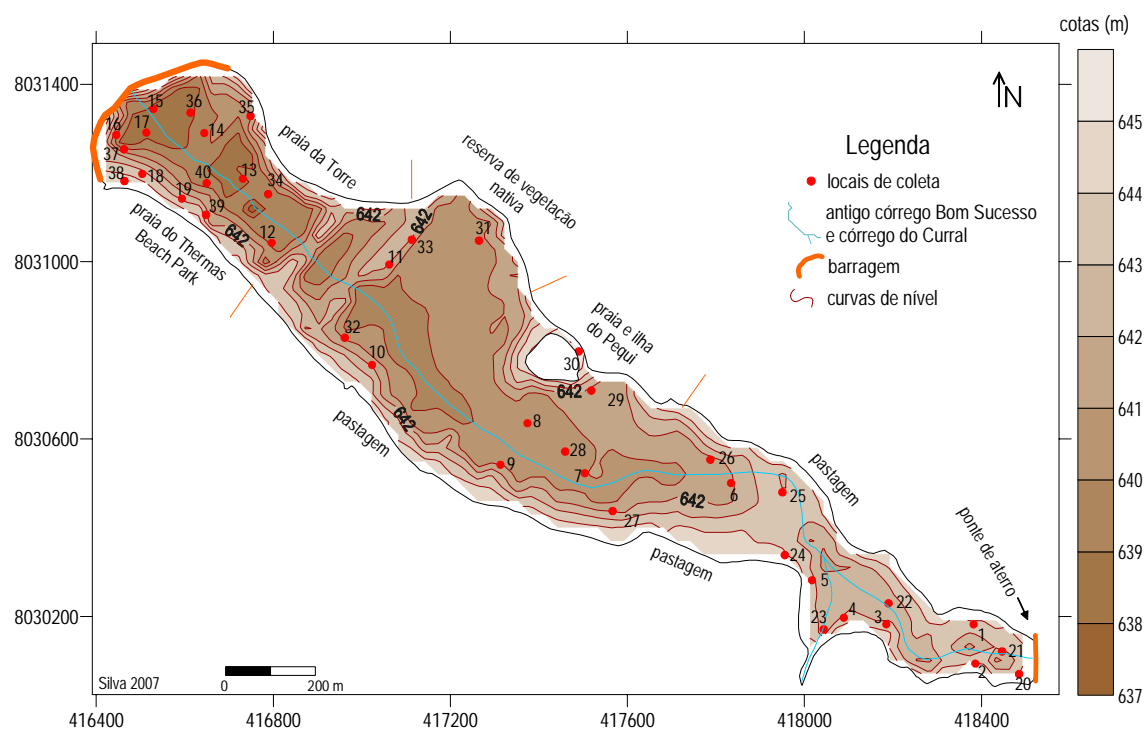
#### 4.2.6 Análise da batimetria

O levantamento batimétrico foi realizado segundo perfis transversais, em zizag e longitudinais (figura 47). As seções batimétricas foram efetuadas na segunda campanha de campo, para obter, após sua integração, o relevo de fundo no lago.



**Figura 47:** Seções batimétricas realizadas nesta pesquisa.

O modelo de relevo foi desenvolvido visando atingir a maior área possível de fundo. Ao mesmo tempo, a amostragem batimétrica por seções transversais foi feita com densidade que permitiu do modelo satisfatório (figura 48).

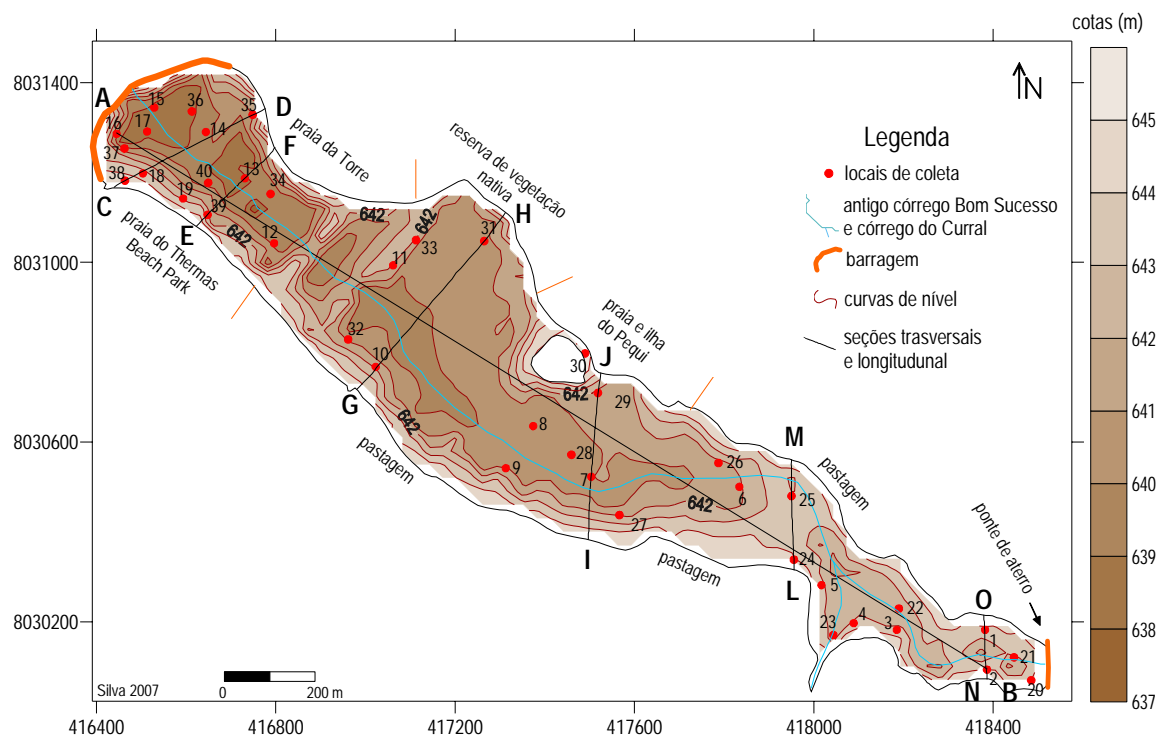


**Figura 48:** Modelo topográfico do fundo do lago.

#### 4.2.7 Caracterização do assoreamento e prováveis áreas-fonte

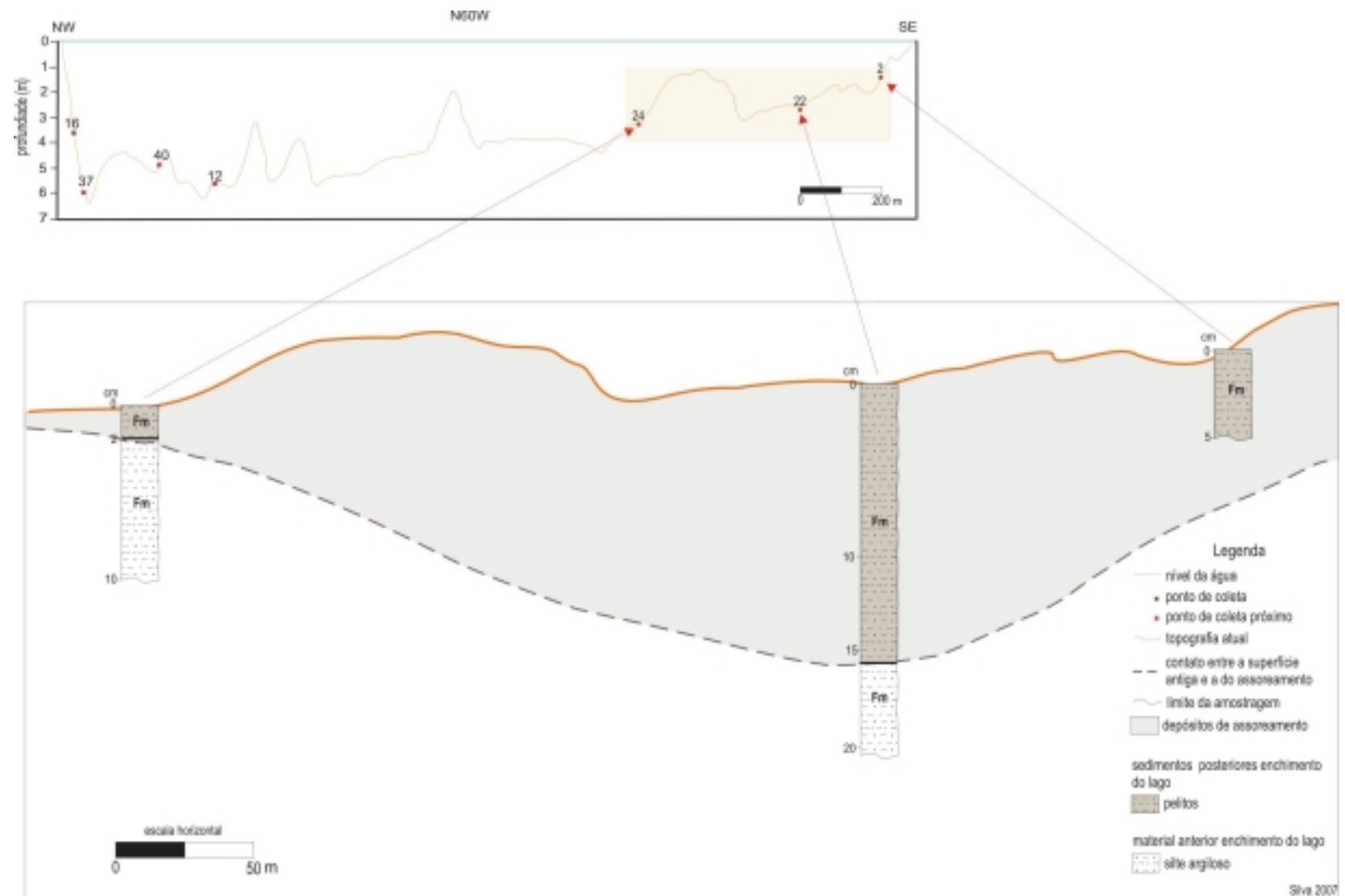
A análise do assoreamento do lago Bonsucesso utilizou a correlação dos tipos de depósitos de fundo, com características fisiográficas da bacia e seu potencial de fornecimento de material.

A topografia de fundo e o assoreamento foram analisados mediante sete seções topográficas, uma longitudinal e seis transversais (figura 49).

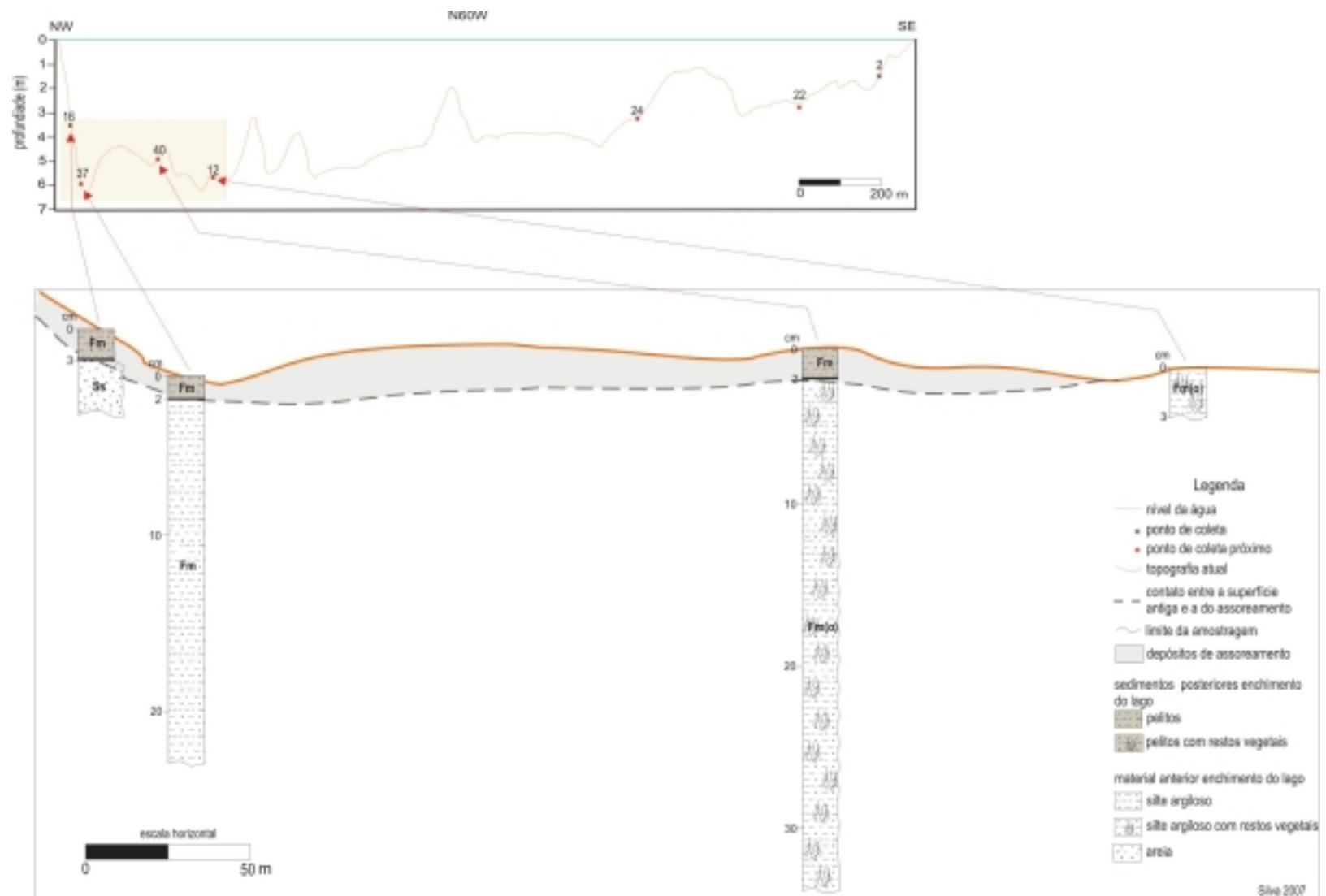


**Figura 49:** Mapa da topografia do fundo lago e das seções topográficas obtidas por batimetria.

A seção longitudinal AB, entre os pontos de coleta 16 e 2, mostra o perfil topográfico de fundo entre a montante e a jusante. Foi dividida em duas partes para discussão (seção longitudinal AB a montante e a jusante). Na seção a montante (figura 50) estão localizados perfis verticais que são constituídos de silte argiloso. Na seção a jusante (figura 51) os sedimentos contêm matéria orgânica, possivelmente associada com a superfície do terreno anterior à deposição, mais ao centro do lago.



**Figura 50:** Parte de montante da seção longitudinal AB. Localização, vide figura 31; siglas de fácies, vide quadro 16.





A parte de montante da seção AB, constitui-se de silte argiloso, exibidos nos perfis verticais 2, 22 e 24. O material anterior ao enchimento compõe-se de silte e argila, provável solo de alteração de basaltos (vide figura 44). Os sedimentos pelíticos (argila siltica) do perfil vertical 22 são depósitos de 15 cm de espessura formados após a criação do lago. Exibem cor marrom, são pobremente selecionados, possuem curva granulométrica com assimetria muito negativa. Estes sedimentos de alteração das rochas basálticas da bacia são carregados pelo córrego Bom Sucesso, além da contribuição de materiais particulados de erosão nas margens esquerda e direita, próxima à montante, devido solo exposto da alteração do basalto.

Na parte jusante da seção longitudinal AB (perfis verticais 12 e 40) os depósitos são constituídos de silte e argila com matéria orgânica dispersa (raízes de gramíneas em posição de vida). O perfil 37 exhibe estrato basal em toda camada. O solo da área desta seção de jusante é arenoso (vide figura 44). O material silte argiloso composto nesta parte da seção (perfis verticais 12, 40 e 37) indica que foi depositado antes do enchimento. É provável que este local seja uma antiga planície de inundação.

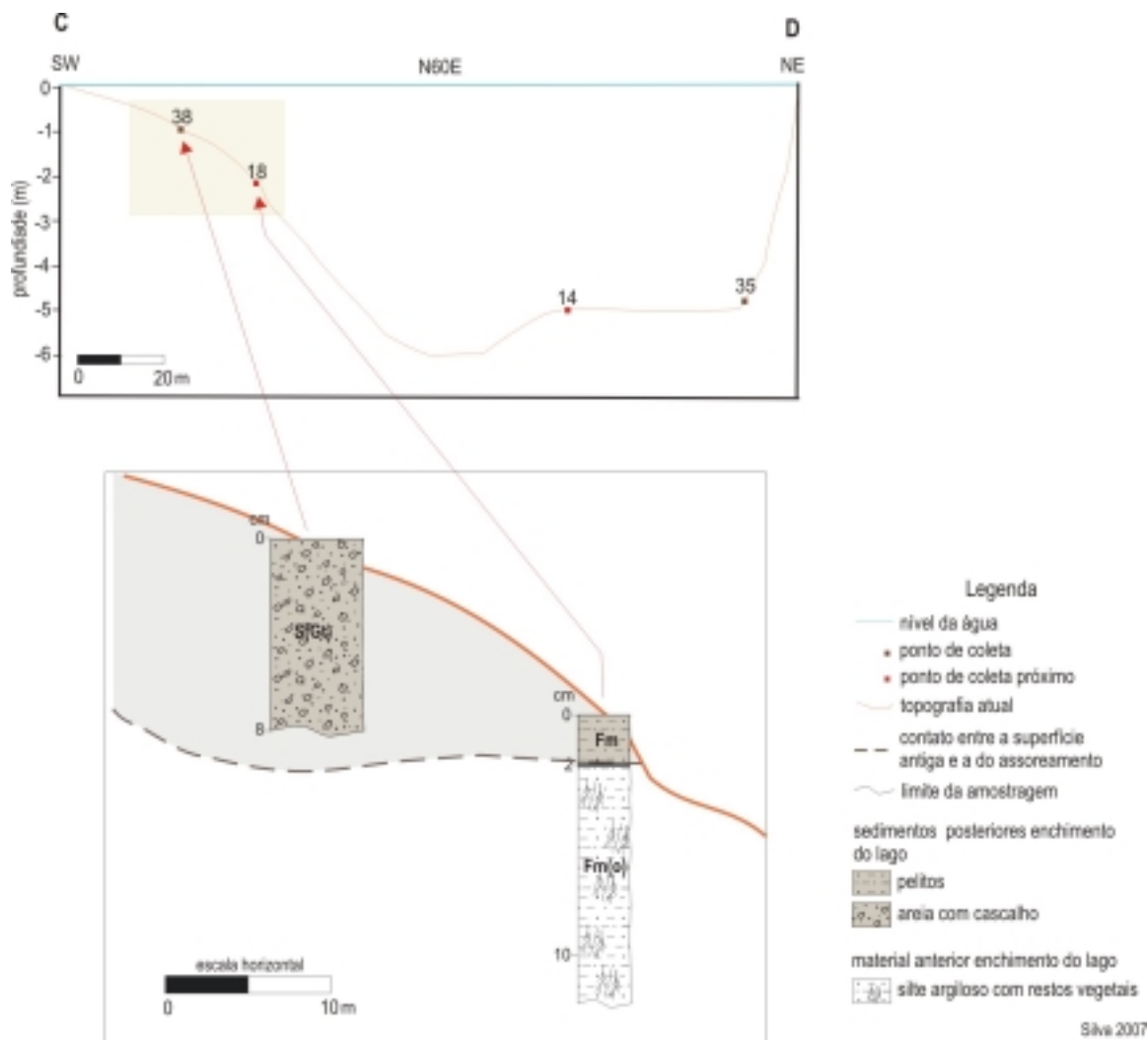
O topo do perfil 40 é constituído por estrato de argila siltosa de dois centímetros de espessura. Sua curva granulométrica tem assimetria muito negativa, indicando que os sedimentos são de alteração de basaltos. A seção colunar 16 compõe-se de argila arenosa, muito pobremente selecionada. Os pelitos que constituem estes dois perfis verticais indicam que foram depositados por decantação, após enchimento do reservatório. Neste local, próxima a barragem, a deposição se dá devido a água de baixa energia.

A seção transversal CD localizada próxima à barragem, entre as praias do clube *Thermas Beach Park* (figura 52) e da Torre (figura 53). Os depósitos nas duas margens são compostos por areia (perfis verticais 38 e 35) de alteração dos arenitos e de areias lixiviadas (coloca por ação antrópica) e mais ao centro (perfis verticais 18 e 14, mais próximos da seção) por silte argiloso, de provável origem dos basaltos.

O solo das duas praias constitui-se de Areias Quartzosas (vide figura 44) de cor amarelo/avermelhado, após o enchimento do lago foram contaminadas de areias lixiviadas de granulação média de alteração de arenitos.

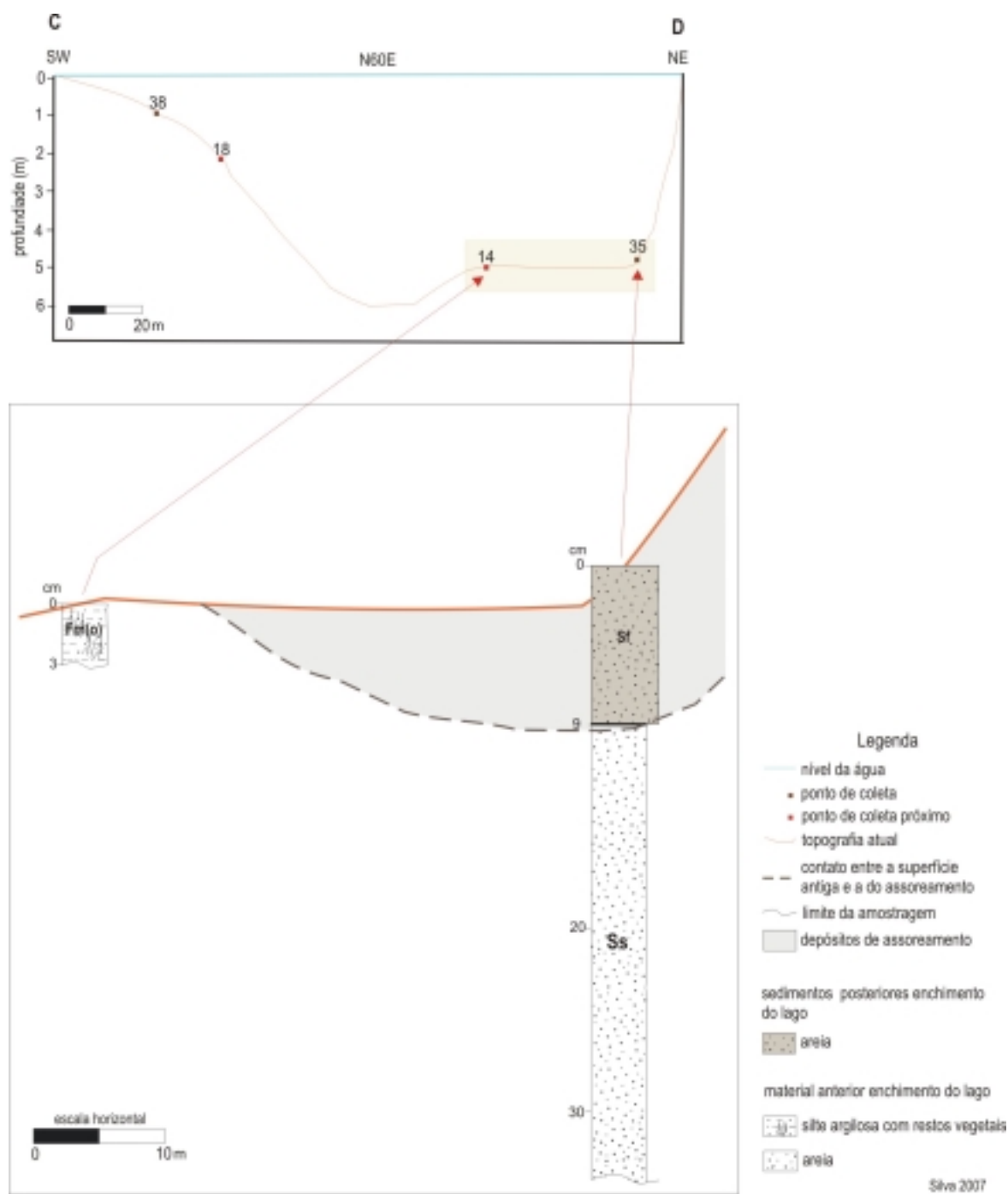
O estrato silte argiloso exhibe matéria orgânica dispersa (raízes de gramíneas recentes), fato que levou a considerá-lo como depósito da antiga planície. Os dois cm do topo da seção colunar 18 é composto silte argiloso, de cor marrom, deposição por decantação, em ambiente com fluxo de corrente de baixa energia, devido ser área do barramento do lago.

Os sedimentos de areia com cascalho composto no perfil 38 indicam que houve deposição de areia remobilizados da praia do clube *Thermas Beach Park*, sobre o cascalho antes do enchimento do lago, na época da construção da barragem.

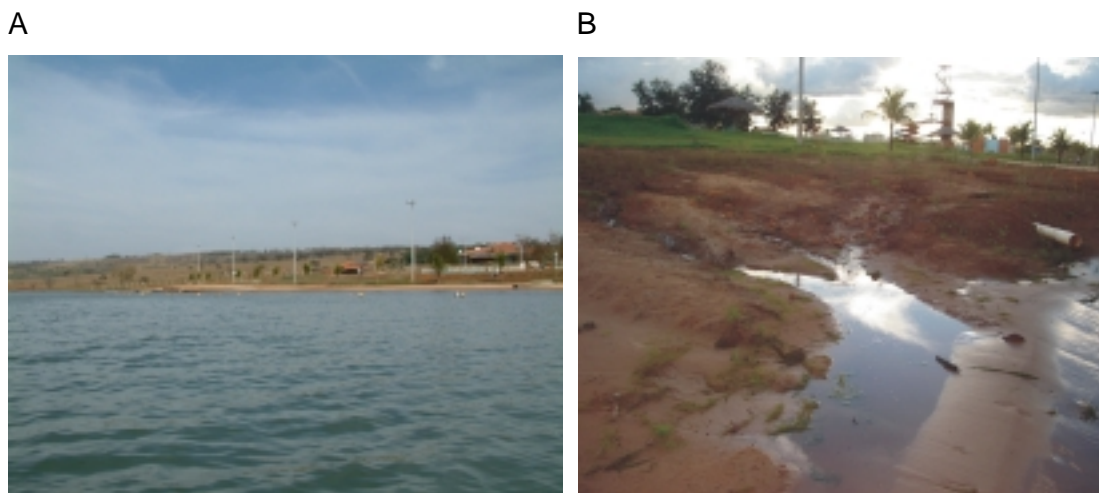


**Figura 52:** Parte da seção longitudinal CD a margem esquerda. Localização, vide figura 31; siglas de fácies, vide quadro 16.

A sondagem 35 indica que o depósito na margem da praia clube *Thermas Beach Park* (figura 54A e 54B) constitui de duas camadas de areia, com granocrescência para o topo. Nos 28 cm de espessura da camada da base é composta por areia muito fina, exibe cor amarelo/avermelhado, o que significa ser de anterior ao enchimento do lago, devido ao local possui solo arenoso. Nos nove cm de areia fina do topo, corresponde a deposição posterior ao enchimento do lago proveniente da remoção de partículas de solo pela erosão de margem da praia da Torre (figura 56) para o interior do mesmo, principalmente no período chuvoso.

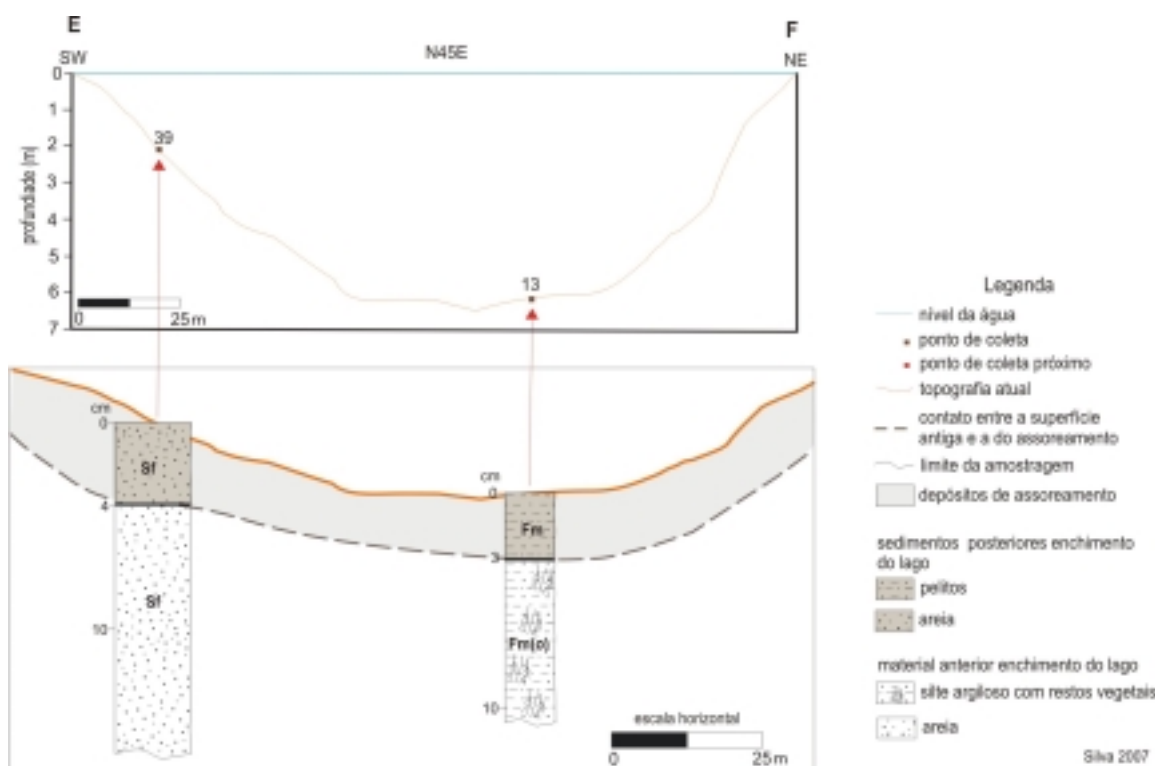


**Figura 53:** Parte da seção longitudinal CD a margem direita. Localização, vide figura 31; siglas de fácies, vide quadro 16.



**Figura 54:** A) Vista da praia do clube *Thermas Beach Park*, na margem esquerda próxima a jusante; B) Feições de erosão provocado no período chuvoso na praia do referido clube.

Os perfis 39 e 13 da seção transversal EF, localiza-se na figura 55.



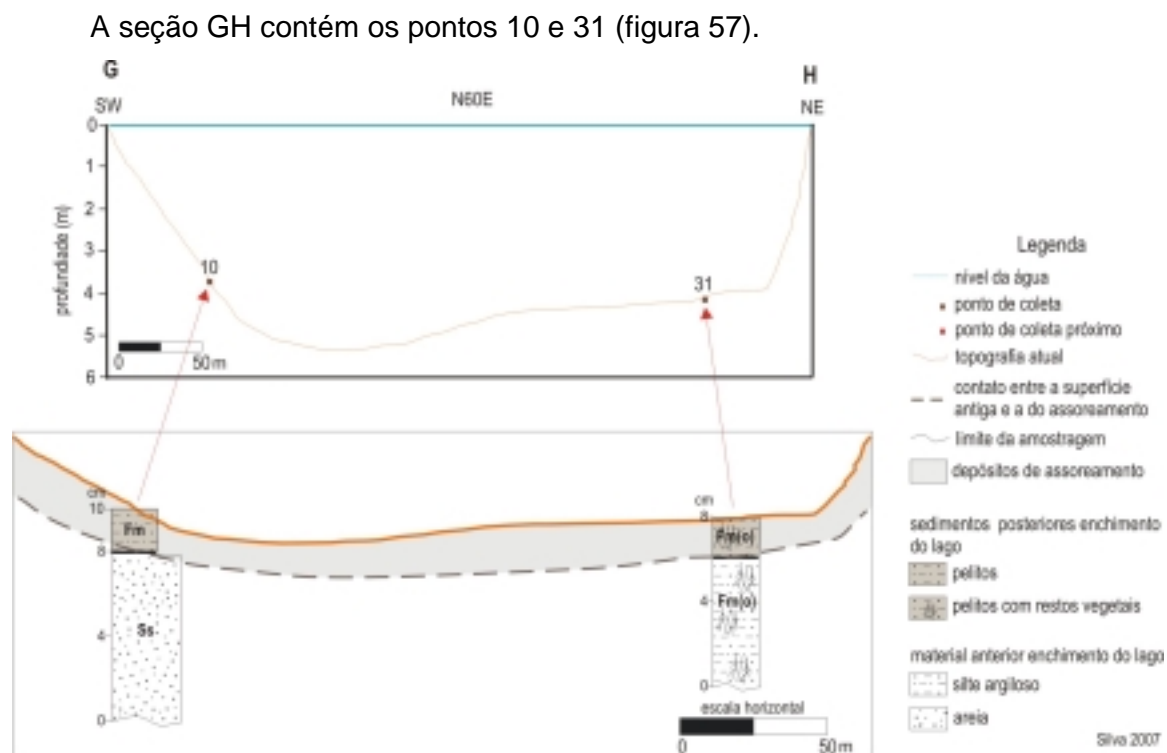
**Figura 55:** Seção transversal EF. Localização, vide figura 31; siglas de fácies, vide quadro 16.

O topo da seção 13 é constituído por estrato de silte argiloso maciço, de cor marrom claro, com 3 cm de espessura. Tal camada, acumulada por decantação, devido a formação do lago, sobrepõe-se a camada a silte-argiloso maciço, marrom escuro, rico em restos vegetais, de gramíneas em posição de vida. Por tal, a camada sobreposta foi considerada como depósito mais antigo, da provável planície de inundação do córrego

Bom Sucesso, anterior a formação do lago. Foram amostrados pouco mais que 8 cm deste material, sem atingir seu limite inferior.



**Figura 56:** Feições de erosão do período chuvoso e afloramento do aquífero freático, entre a praia da Torre e a jusante.



**Figura 57:** Seção transversal GH. Localização, vide figura 31; siglas de fácies, vide quadro 16.

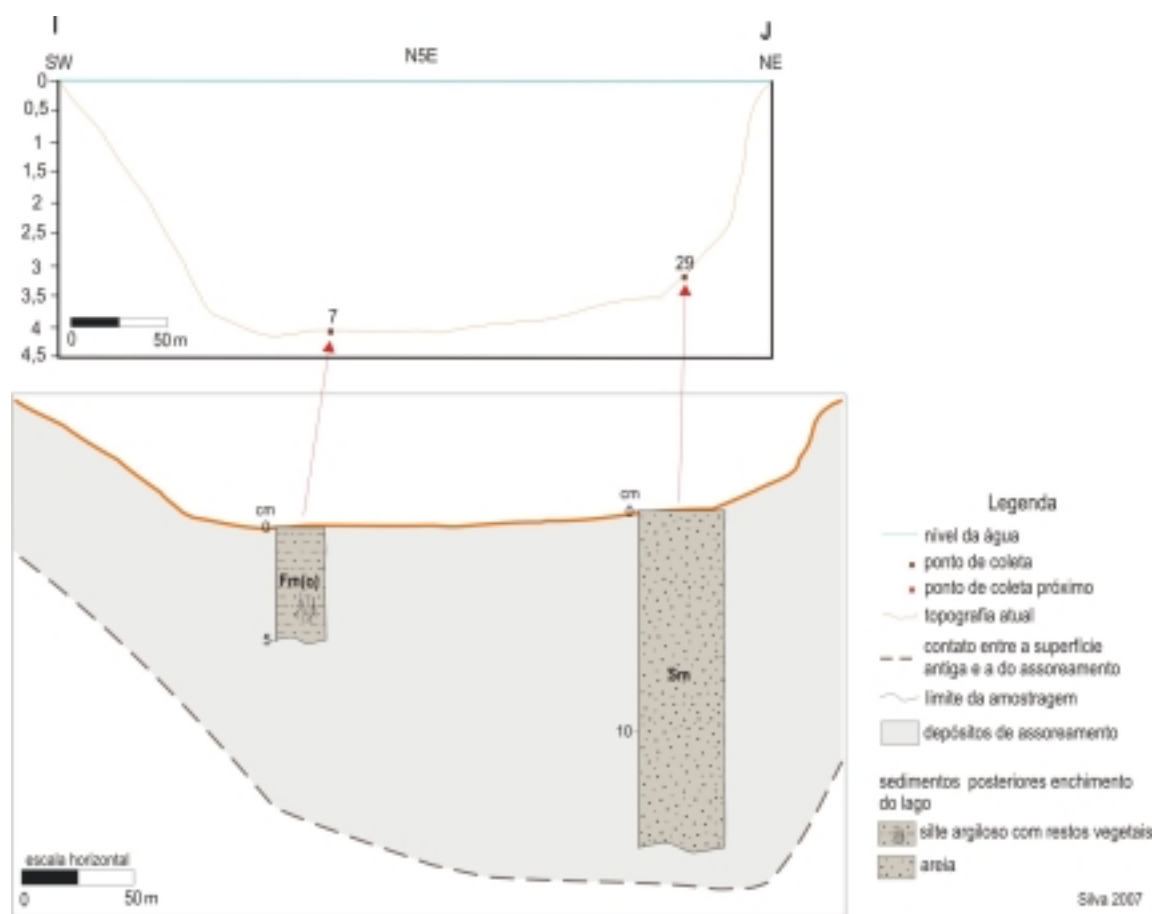
Esta seção constitui-se de dois tipos de depósitos anteriores ao enchimento do lago. Um depósito é constituído por duas camadas de material caracterizado por

granodecrescência para o topo (perfil vertical 10), situado a margem esquerda, em frente a ilha do Pequi. Outro depósito silte argiloso (perfil vertical 31), contém restos de provável planície de inundação do córrego Bom Sucesso, à margem direita nas proximidades da reserva de vegetação nativa.

A camada do topo da seção 10, que se sobrepõe à camada de areia muito fina, constitui-se de silte argilo-arenoso, com 2 cm de espessura, muito pobremente selecionado, com curva granulométrica muito positiva, indica que a deposição foi por decantação de sedimentos de alteração de basaltos.

Os dois cm do topo da seção colunar 31 indica que o estrato é constituído de silte argiloso maciço, de cor cinza escuro, com matéria orgânica (gramíneas e raízes em estado de vida). Esta camada foi formada por decantação de sedimentos de alteração de basaltos sobre gramíneas em estado de vida, em área com fluxo d'água de baixa energia, após o barramento do lago.

Os perfis de pontos de coleta 7 e 29 situam-se na seção IJ (figura 58).



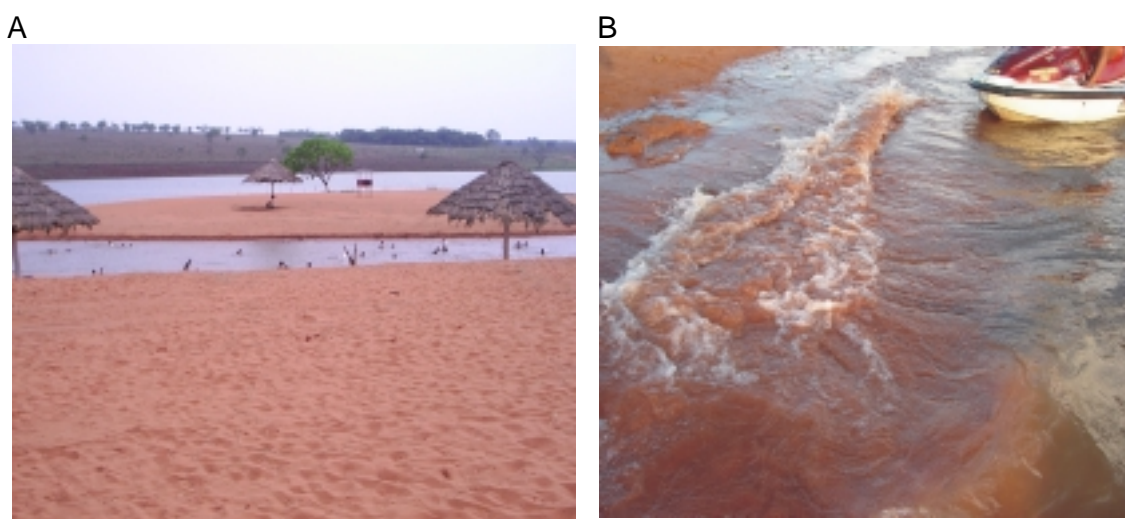
**Figura 58:** Seção transversal IJ. Localização, vide figura 31; siglas de fácies, vide quadro 16.

O perfil 7 constitui-se de sedimentos silte argilosos com matéria orgânica dispersa na amostra (folhas de gramíneas). Exibe cor cinza escuro, com espessura de

5 cm. Pode ser verificado em toda camada sedimentos pelíticos que foi depositado sobre gramíneas por decantação após o enchimento do lago.

Todo o perfil 29 é constituído por areia siltosa, de cor avermelhada, com espessura de 15 cm, composta por sedimentos de areia provenientes da alteração do arenito da Formação Botucatu posterior ao enchimento do lago. Este ponto está localizado próximo do canal entre a ilha e a praia do Pequi (figura 59A).

Na área da praia e ilha do Pequi há remoção de areias para interior do lago no período chuvoso e também por vento, devido ao solo exposto. Também ocorre remoção de sedimentos pela movimentação da água, provocada por atividades de embarcações (figura 59B).



**Figura 59:** **A)** Praia, canal e ilha do Pequi; **B)** Remoção de partículas de margem provocada por embarcação.

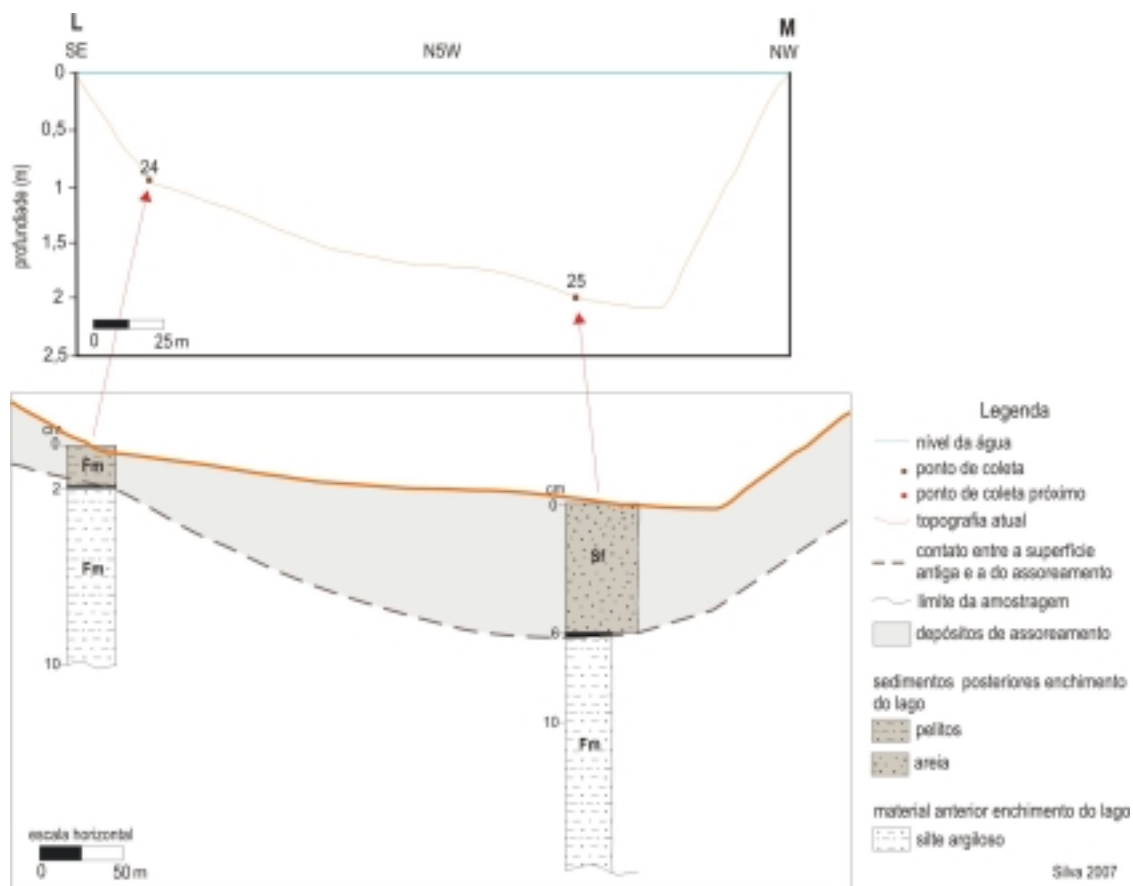
A seção transversal LM localiza-se abaixo do encontro dos córregos Bom Sucesso e Curral (figura 60). Nesta seção situam-se os perfis verticais 24 e 25.

O perfil 24 é constituído por estrato silte argiloso. Nos oito cm da base, exhibe material de cor avermelhada, considerado depósito mais antigo, por possui a mesma característica do solo (argiloso) da margem, anterior a formação do lago. Sobrepe-se uma camada de silte argiloso, muito pobremente selecionado, com curva granulométrica muito negativa, onde indica que o depósito foi formado posterior enchimento do lago.

Na estrutura sedimentar da seção colunar 25 verificou-se granocrescência de deposição por camadas para o topo. A camada da base possui cor amarronzada. Foi provável depósito de planície de inundação do córrego Bom Sucesso, anterior ao barramento. Nos seis cm espessura do topo, o estrato compõe-se de areia fina, bem selecionada. Esta parte do depósito tem provável origem por retenção devido a um



aterro, anterior ao barramento. Nesta área, o gado utiliza o lago para beber água. O pisoteamento propicia a liberação de partículas de solo da margem (figura 61), para o interior do lago.



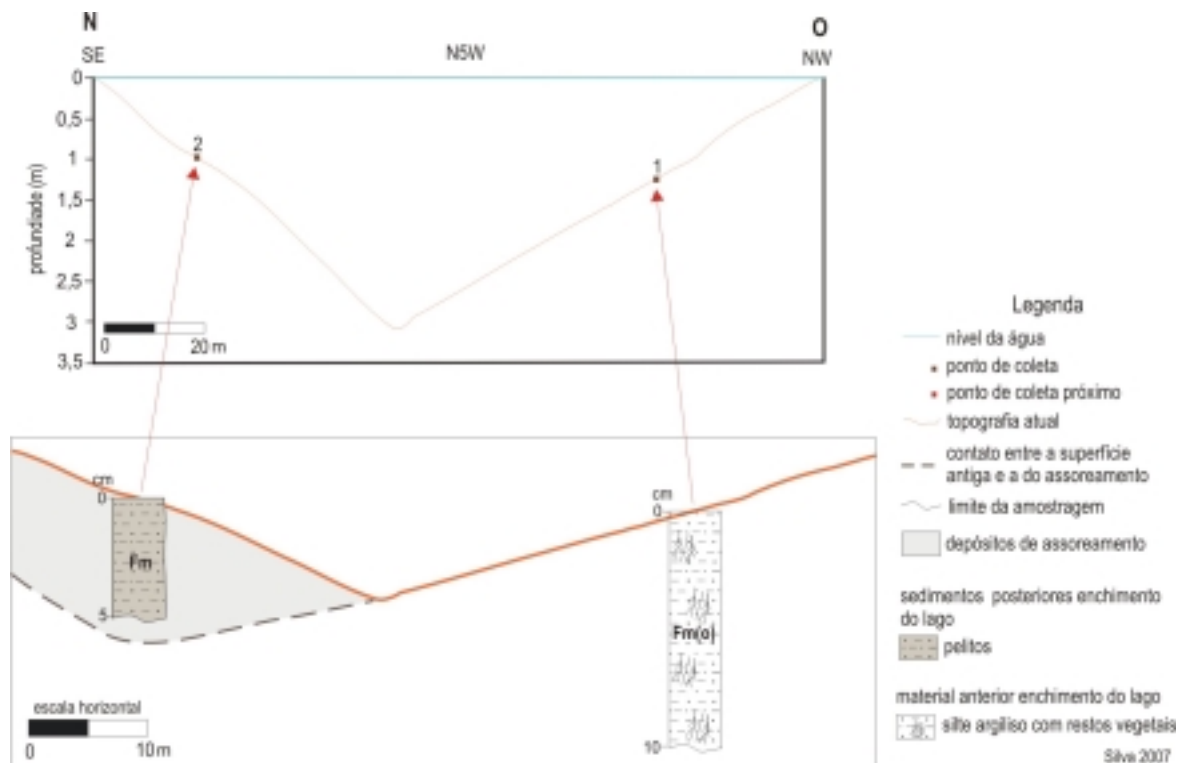
**Figura 60:** Seção transversal LM. Localização, vide figura 31; siglas de fácies, vide quadro 16.



**Figura 61:** Pisoteio do gado na margem esquerda, sujeito remoção de partículas.



Os perfis verticais 2 e 1 localiza-se na seção NO (figura 62).



**Figura 62:** Seção transversal NO. Localização, vide figura 31; siglas de fácies, vide quadro 16.

Esta seção situa-se os perfis verticais 1 e 2, que são constituídos de silte argiloso. O depósito do perfil vertical é constituído por estrato de silte argiloso maciço, com cor marrom claro, formado no provável canal do córrego Bom Sucesso em área de remanso, posterior ao enchimento do lago. Os cinco centímetros amostrados são sedimentos de origem da alteração de basaltos e de contribuição de erosão da margem direita, sem atingir o seu limite inferior.

A seção colunar 1 é composta de material silte argiloso com restos vegetais dispersos e raízes de gramíneas em posição de vida. Nos dez cm de espessura deste material sem atingir o seu limite, acumulado após o enchimento do lago.

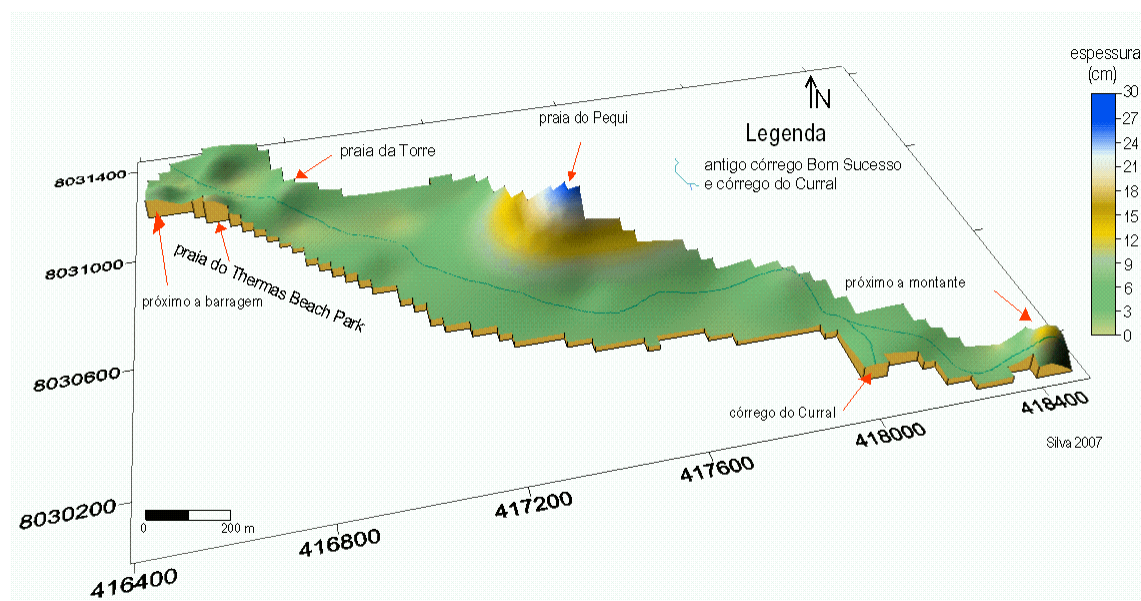
#### 4.2.8 Áreas de contribuição do assoreamento do lago

A análise dos perfis verticais permitiu comparar espessuras do assoreamento do lago Bonsucesso (tabela 5).

**Tabela 5:** Espessura dos materiais amostrados em perfis verticais.

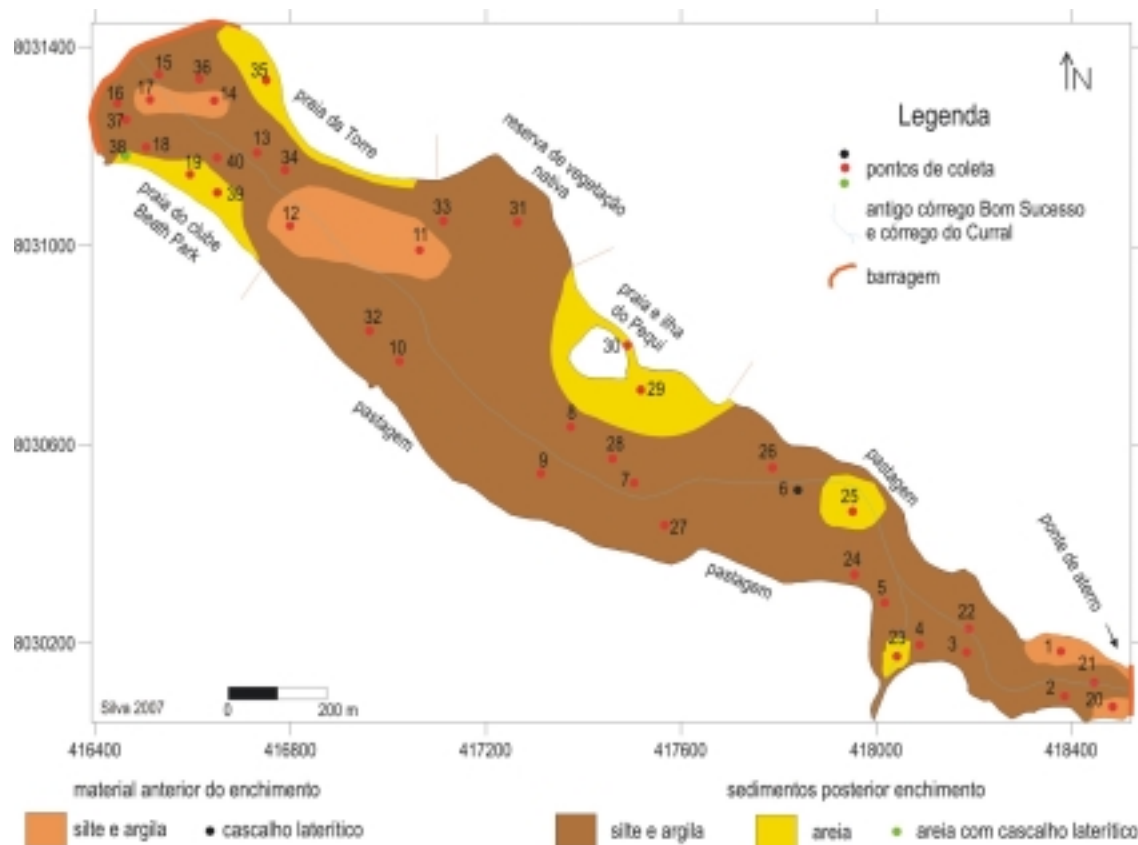
local	coordenadas UTM		espessura (cm)		local	coordenadas UTM		espessura (cm)	
	lat.	long.	substrato antigo	depósitos de assoreamento		lat.	long.	substrato antigo	depósitos de assoreamento
1	418382	8030182	10	0	21	418447	8030121	12	16
2	418386	8030093	0	5	22	418190	8030229	6	15
3	418185	8030182	20	3	23	418044	8030171	19	7
4	418088	8030197	amostra insuficiente		24	417956	8030338	8	2
5	418017	8030281	25	3	25	417950	8030480	11	6
6	417834	8030500	3	0	26	417787	8030553	6	3
7	417504	8030523	0	5	27	417566	8030437	7	3
8	417373	8030635	amostra insuficiente		28	417459	8030572	4	4
9	417313	8030542	14	4	29	417518	8030709	0	15
10	417023	8030767	8	2	30	417490	8030797	0	30
11	417062	8030993	3	0	31	417265	8031047	6	2
12	416796	8031042	3	0	32	416961	8030828	24	5
13	416731	8031187	8	3	33	417113	8031049	6	3
14	416644	8031290	3	0	34	416788	8031152	0	8
15	416529	8031344	10	3	35	416749	8031328	28	9
16	416445	8031286	3	2	36	416613	8031336	33	9
17	416513	8031291	17	0	37	416463	8031253	21	2
18	416504	8031198	10	2	38	416464	8031182	0	8
19	416593	8031142	0	12	39	416648	8031106	11	5
20	418485	8030070	7	0	40	416649	8031177	32	2

Os resultados, quando analisados de acordo com sua distribuição no lago, indicam que as áreas de maior aporte de sedimentos estão nas margens do reservatório. Tais depósitos variam de 3 a 30 cm de espessura (figura 63). Os pelitos (silte e argila) variam de dois a seis cm em espessura, sendo o mais espesso com 16 cm, localizam-se na parte da montante do lago.

**Figura 63:** Distribuição dos depósitos de assoreamento do lago, com base nas espessuras das medidas dos perfis verticais.

Os sedimentos mais grossos (areias) ocorrem nas praias do Pequi, da Torre e do clube *Thermas Beach Park*. Os mais finos (silte e argila) na parte montante, mais ao centro e à jusante do lago (figura 64).

Em termos gerais, os sedimentos encontrados no fundo do lago provêm de duas fontes. Os pelíticos, produtos da alteração de rochas basálticas, que predominam a bacia. A segunda fonte são solos arenosos, provenientes da alteração de arenitos que constituem área menor do substrato da bacia. Compõe parte da margem direita da área do reservatório.



**Figura 64:** Mapa de distribuição dos depósitos de assoreamento, segundo a granulação obtida nas análises dos perfis verticais.

A estação chuvosa na região tem duração de novembro a abril. Às vezes, ocorrem chuvas torrenciais, e fazem com que as argilas sejam transportadas por escoamento superficial, por enxurradas e rede de drenagem. Posteriormente estas partículas se depositam por decantação no lago, cuja entrada principal é o córrego Bom Sucesso.

A água do reservatório no período chuvoso fica de cor vermelho-amarelada (figura 65), por conter material particulado em suspensão até a sua deposição por decantação.



**Figura 65:** Água do lago com cor vermelho-amarelada.

No mapa de Fragilidade Emergente verifica-se que áreas classificadas como de instabilidade ambiental predominam na bacia, com áreas de fragilidades médias e altas em vários locais (figura 33).

As atividades agropastoris deixam os solos vulneráveis, principalmente por falta de cobertura vegetal apropriada. Neste caso, o terreno se torna susceptível a erosão provocada por escoamento superficial. Os relevos suaves ondulado, com declives mais acentuados para centro da área, com uma rede de drenagem dendrítica e de quarta ordem (vide figura 18), facilitam a remoção e transporte de partículas para o reservatório.

A análise da bacia pelo mapa de Fragilidade Pontecial Erosivo mostra que o grau mais intenso da fragilidade é da classe média. Situa-se nas áreas de solo de composição arenosa nas proximidades do lago.

Nestas áreas de substratos areníticos a proteção vegetal atual é a pastagem. O pisoteamento dos animais neste tipo de solo contribui para liberação de partículas de solos e remoção por escoamento superficial na época chuvosa, posteriormente, transportadas para o lago Bonsucesso.

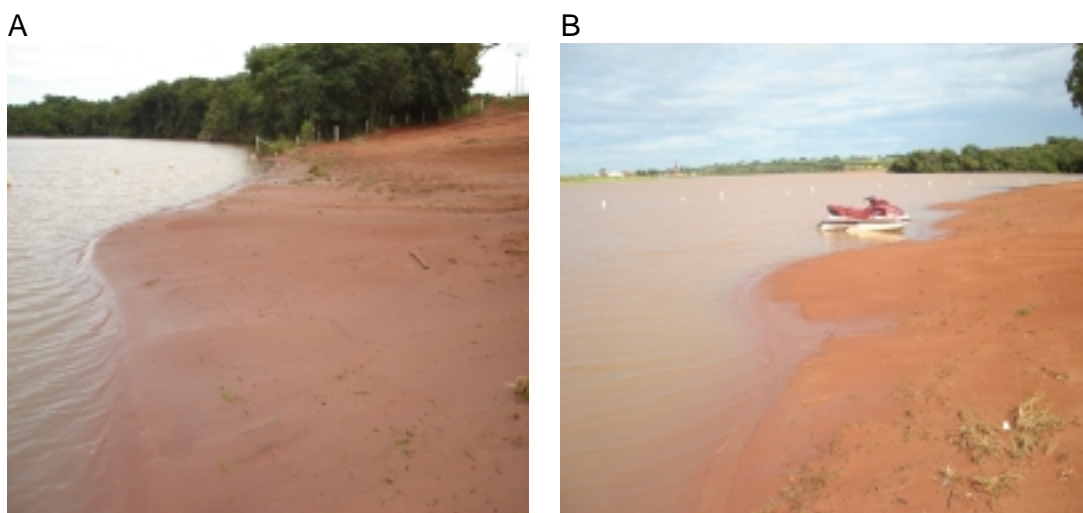
A ação antrópica pode ser observada na área da margem direita do lago, e contribui para o processo do assoreamento, devido à remoção de solo com máquinas de forma inadequada, a fim de reter água de escoamento superficial, e também utilizam

deste recurso para nivelar o terreno nas praias (figura 66A e 66B). Nota-se que estas ações são realizadas sem cuidados técnicos de manejo do solo, o que contribui para o desencadeamento de processos erosivos nas margens do lago.



**Figura 66:** **A)** Remoção de solos para evitar o escoamento de água das chuvas; **B)** Nivelamento do terreno da praia da Torre por máquinas.

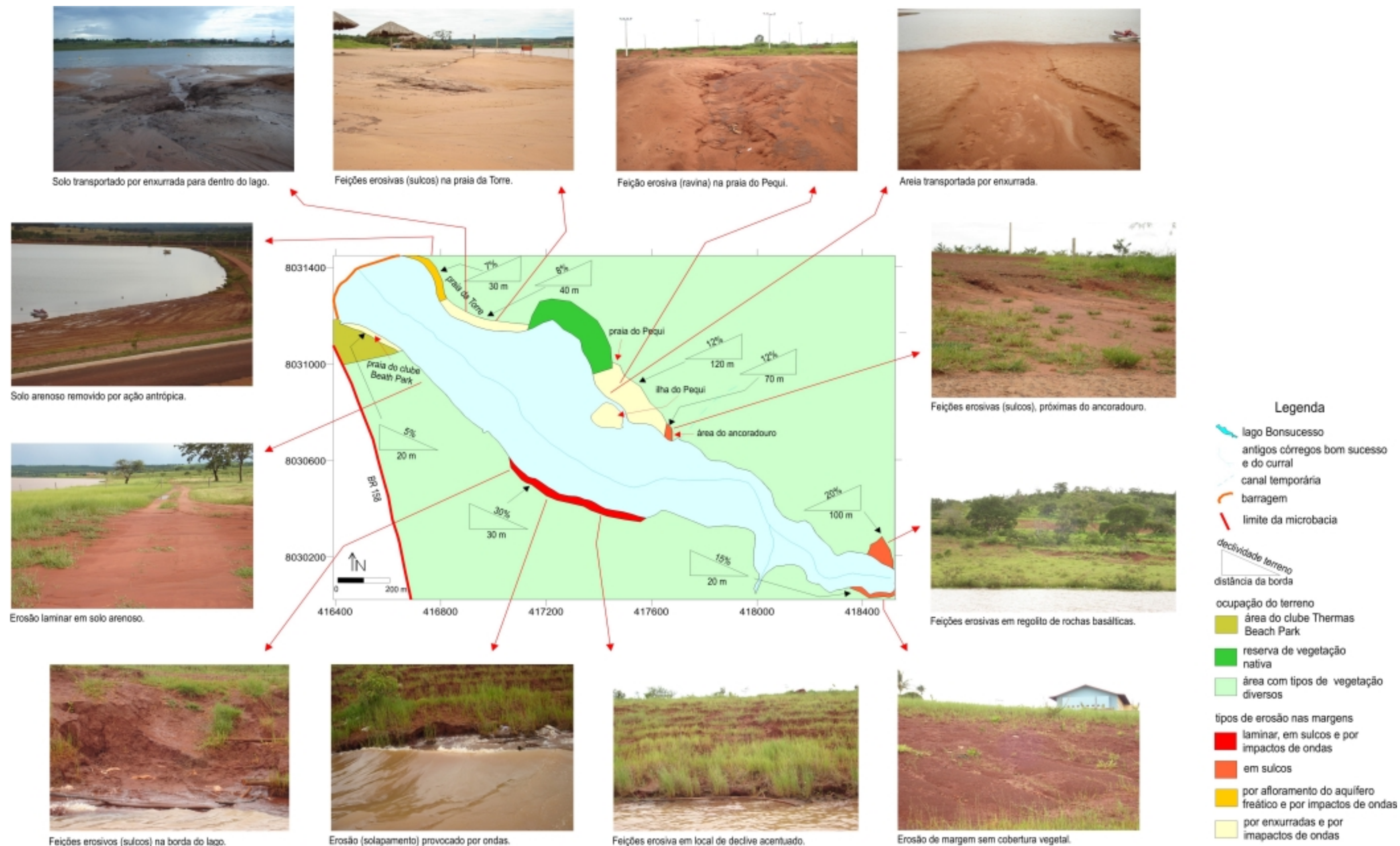
As ações humanas, e falta conservação da área têm provocado o avanço de material arenoso para dentro do reservatório (figura 67A e 67B), principalmente em períodos chuvosos.



**Figura 67:** **A e B)** Feições de erosão do tipo cone (pequenos deltas) formadas na praia do Pequi.

As feições de erosão apresentam-se com maior intensidade nas margens do lago, visíveis nas praias do Pequi, praia da Torre na praia do clube *Thermas Beach Park*. Este avanço acarreta no assoreamento e estreitamento do lago (figura 68).





**Figura 68:** Tipos de processos erosivos identificados nas margens do lago Bonsucesso.

A circulação de pessoas que utilizam a área para lazer e diversão (figura 69A), juntamente com o tráfego de veículos pela área das praias (figura 69B), em locais sem proteção vegetal agravam a situação. As atividades em terreno arenoso removem as partículas do solo. Estas partículas de areias inconsolidadas podem se carregadas pelas águas das chuvas e pelo vento com facilidade.



**Figura 69: A)** Pessoas na praia e ilha do Pequi para dia de lazer; **B)** Veículos estacionados na praia do Pequi.

Atualmente, as principais atividades que contribuem para a remoção de materiais particulados da bacia e margens do lago, e conseqüentemente a deposição destes no interior do reservatório são:

- loteamentos que desconsideram critérios ambientais em sua implantação;
- manejo inadequado do uso do terreno nas proximidades do lago;
- atividades agrícolas, culturas de soja, milho, sorgo, etc. na bacia;
- pastagem para criação de gado na bacia e nas margens do lago;
- uso intensivo das margens do lago para áreas de lazer;
- falta de zoneamento territorial que discipline o uso e ocupação do solo.

O uso incorreto da área da bacia nas atividades agropastoris e das margens do lago Bonsucesso está causando o assoreamento e a redução da vida útil do mesmo.

## 5 CONCLUSÕES

A análise dos depósitos de assoreamento e do potencial de fornecimento de material particulado da bacia do lago Bonsucesso permitiu as conclusões apresentadas a seguir.

Os depósitos de assoreamento predominantes no lago Bonsucesso localizam-se à montante do lago, e são caracterizados por pelitos (silte e argila) que variam de dois a seis cm de espessura, sendo o mais espesso com 16 cm. O acúmulo de sedimentos arenosos predomina nas proximidades das praias da Torre e do clube *Thermas Beach Park*, sendo que nas proximidades da ilha e praia do Pequi os depósitos chegam a 30 cm de espessura.

As fontes dos sedimentos pelíticos são depósitos superficiais de alteração de basaltos da bacia, transportados por suspensão pela rede de drenagem do córrego Bom Sucesso. Tais materiais são depositados no lago por decantação, com contribuição de sedimentos provenientes da erosão das margens, no ancoradouro público e na margem esquerda em frente a ilha do Pequi. Já as fontes potenciais dos sedimentos de alteração de arenitos são: praias do Pequi, da Torre, clube *Thermas Beach Park* e ilha do Pequi.

Nas margens direita e esquerda do lago foram identificadas feições erosivas em sulcos, por impacto de ondas, por enxurradas e por afloramento do aquífero freático. No período chuvoso os processos erosivos nestes locais de terreno exposto são acelerados e aumenta o transporte de partículas de solo para o interior do reservatório.

Os depósitos no interior do lago têm diâmetro médio predominante silte e argila, verificados em 30 das 38 amostras analisadas. Constatou-se que 44% do material é pobremente selecionado e 40% muito pobremente selecionado. Verificou-se que 95% dos sedimentos possuem curva granulométrica com desvio da normalidade, apresentando assimetria muito negativa em 61% e 21% com assimetria muito positiva.

A descrição visual dos perfis verticais de amostragem indicou que os depósitos de fundo são constituídos predominantemente por silte argiloso. Areia média predomina nos pontos das proximidades nas praias do Pequi e do clube *Thermas Beach Park*, enquanto que areia fina predomina na praia da Torre. Os sedimentos silto-argilosos são provenientes do transporte fluvial em suspensão, e oriundos das margens pela enxurradas no período chuvoso.



O aporte de sedimentos arenosos, constatado nas praias do Pequi e da Torre, tem origem em áreas de arenitos situadas em locais com pastagens, nas proximidades do lago.

A maioria dos sedimentos finos provém dos setores médio a alto da bacia, onde predominam de atividades agropastoris em solos argilosos da alteração de basaltos da Formação Serra Geral.

Constatou-se que parte do silte que compõe os depósitos de assoreamento provinientes de áreas de alteração de basalto é constituída por agregados de argila, por óxidos/hidróxidos de ferro. O processo de cimentação provavelmente associa-se a transformações pedogenéticas ocorridas na área-fonte (herdadas).

No levantamento batimétrico foi verificado que o lago possui profundidade máxima de oito metros próximo à barragem, na antiga calha do córrego Bom Sucesso. A profundidade média varia entre seis a quatro metros na parte central do lago. Na parte montante a profundidade varia de um a três metros.

A atividade predominante na bacia é a agropastoril, em 85,5% da área. As lavouras mecanizadas situam-se em áreas de declividade entre 0 a 8%, em relevo plano e suave ondulado. Os solos predominantes são os latossolos, de alteração de rochas basálticas.

A área de estudos possui uma rede hidrográfica dendrítica, pelos parâmetros morfométricos é uma rede de drenagem de 4ª ordem com uma extensão de 85 km. A drenagem converge para o córrego Bom Sucesso, a principal entrada de água no reservatório. Sendo que no período chuvoso, os materiais particulados de alteração de basaltos são transportados em suspensão, que chega ao lago dando a cor vermelho-amarelada da água.

As fragilidades potenciais erosivas foram classificadas em graus de fragilidade muito baixa, que correspondem a locais de relevo plano e relevo suave ondulado, em solos argilosos com vegetação, pouco susceptíveis às erosões. A fragilidade baixa, em relevos mais ondulados, constituídos de solos argilosos, onde predominam áreas de pastagens, com risco maior de erosão. A fragilidade média, em relevo suave ondulado, localiza-se em solos arenosos, onde a proteção vegetal é a pastagem, sendo que são áreas mais susceptíveis à erosão.

A análise da Fragilidade Ambiental, obtida pelo método da avaliação da Fragilidade Emergente da microbacia, indicou graus de fragilidade média e alta que está presente em 69% da área. Nestes locais, as instabilidades ambientais são

provocadas pela interferência antrópica, por utilização do terreno com a agricultura e pastagem.

Estima-se que a taxa de assoreamento do lago em 5 anos é de 38 mil metros cúbicos, com espessuras em média máxima dos depósitos de fundo de areias entre 6 cm/ano nas proximidades da ilha e praia do Pequi, e mínima de 1 cm/ano no centro e à jusante de sedimentos finos.

As áreas de maior assoreamento constatados foram de areias situadas na praia e ilha do Pequi, também verificados nas proximidades das praias da Torre e do clube *Thermas Beach Park*. Nestas locais foram observados alguns pontos do estreitamento do lago, devido ao transporte de sedimentos pelas enxurradas para seu interior.

Medidas de controle e mitigação do assoreamento, para aumentar a vida útil do lago, podem ser tomadas a partir de planejamento, tais como:

- controlar o escoamento das águas superficiais, que se intensifica no período chuvoso, o que agrava os processos erosivos, principalmente nas proximidades das margens do lago, aumenta o transporte de partículas provenientes da alteração de basaltos e arenitos;
- coibir a erosão em toda a área, com execução e manejo adequado do uso do terreno, com técnicas tais como as de curvas de nível ou terraceamento em áreas de agricultura e pastagem, de acordo com a declividade do terreno e tipo de solo;
- realizar monitoramento para verificar a evolução de cada tipo de erosão que ocorre nas margens do lago, sobretudo nas regiões de praias arenosas. Adotar soluções de contenção após estudos;
- revegetar as áreas com maior taxa de assoreamento (praia e ilha do Pequi, praia do clube *Thermas Beach Park* e praia da Torre);
- monitorar a instabilidade ambiental na bacia devido às atividades agropastoris e da erosão que ocorre nas bordas do lago e realização de estudos de monitoramento para verificar a evolução do problema e propor soluções.;
- estimular integração entre poder público, setor privado e comunidade visando a proteção do meio ambiente. Promover atuação conjunta para a conservação da bacia e o potencial turístico do lago Bonsucesso;
- realizar monitoramento do reservatório com levantamentos batimétricos, análises granulométricas e perfis verticais com objetivo de correlacionar com os dados gerados no presente estudo para monitorar a evolução e reduzir o

assoreamento. Serão importantes para a preservação do reservatório, pequeno e de pouca profundidade.

Dentre as principais conclusões da pesquisa destaca-se a de que as maiores espessuras de assoreamento do lago associam-se às margens arenosas, situadas nas imediações da barragem. localizam-se defronte à praia e ilha do Pequi, assim como as praias da Torre e do clube *Thermas Beach Park*.

Nestes locais verificou-se o avanço da borda em direção ao centro do lago relacionado, principalmente, com erosão, por enxurradas em períodos mais chuvosos, em áreas sem vegetação. As pessoas que circulam nas praias e as ondas provocadas por embarcações agravam o problema.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSUNÇÃO I.C.A. 1999. Potencial natural á erosão em solos do município de Jataí - GO. Departamento de Geografia do Campus Avançado de Jataí, Universidade Federal de Goiás, Jataí – GOIÁS, Monografia de Bacharelado, 60 p.
- ASSUNÇÃO H.F.; SCOPEL I.; SANTOS W. B. 1999. Caracterização espacial do clima no município de Jataí. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10, Florianópolis. Resumos... Florianópolis. p. 207-209.
- BIGARELLA J.J. 2003. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 3, p. 883-939.
- BIGARELLA J.J. & MAZUCHOWSKI J.Z. 1985. Visão integrada da problemática da erosão. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, v. 3, Maringá. *Anais...* Marília: ABGE, p. 327-332.
- BOIKO, J.D. 2004. *Mapeamento geomorfológico e fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Curralinho – região metropolitana de Curitiba/PR*. Departamento de Geografia do Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Dissertação de Mestrado, 104 p.
- BRASIL Ministério das Minas e Energia. 1983. *Folha SE. 22 Goiânia: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra*. Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro, v. 31.
- CAMARGO M.G. 1999. *Sysgran para Windows: sistema de análises granulométricas*. Pontal do Sul PR.
- CARLSTRON FILHO C.; GIMENEZ A.F.; PIRES NETO A.G.; PRADINI L.F.; MELO M.S.; FULFARO V.J.; PONÇANO W.L. 1981. Metodologia para estudo de assoreamento de reservatórios (II) Reservatório de Passo Real e Ernestina (RS). In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 3, Itapema-SC. *Anais...* São Paulo: ABGE, p. 143-162.
- CARVALHO N.O. 1994. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CRPM): ELETROBRAS, 372 p.
- CARVALHO N.O. 2000. *Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios*. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 140 p.
- COIMBRA A.M. 1976. *Arenitos da Formação Bauru: estudo de áreas fonte*. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 60 p.

- COIMBRA A.M.; GOES A.M.; YAMOTO J.K. 1999. *Análise granulométrica de sedimentos*. Apostila, 22 p.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. 1996. *Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico*. São José dos Campos, São Paulo: INPE. CUNHA, S.B. (org). Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 3 ed. p. 291-336.
- DUTRA C.V. & GOMES C.B. 1984. A fluorescência de raios X na Geologia. In: GOMES C.B. (coord.) *Técnicas analíticas instrumentadas aplicadas à Geologia*. São Paulo: Edgard Blücher, p. 85-119.
- FOLK R.L. & WARD W.C. 1957. *Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters*. Journal sedimentology Petrology, 27, p. 3-27.
- GIMENEZ A.F.; CARLSTRON FILHO C; CARNEIRO C.D.R.; STEIN D.P.; PRADINI L.F.; MELO M.S.; FULFARO V.J.; PONÇANO W.L. 1981. Metodologia de estudo de assoreamento de reservatórios (I) Reservatório de Capivari (PR). In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 3, Itapema-SC. *Anais...* São Paulo: ABGE, p. 205-224.
- GOIÁS Superintendência de Geologia e Mineração da Secretaria de Indústria e Comércio. 2003. *Cartas digitais de Geologia e recursos minerais (escala 1:500.000); de solos (escala 1:250.000) do Estado de Goiás e Distrito Federal e solos do Estado de Goiás*. 2 CD-ROM.
- GUERRA A.J.T. 1998. Processos Erosivos nas Encostas. In: *uma atualização de bases e conceitos*. GUERRA A.J.T.; CUNHA S.B. *Geomorfologia*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 149-209.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 1978. *Cartas topográficas na escala de 1:50.000*. Rio de Janeiro: IBGE.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. 1993. *Erosão e assoreamento nas bacias dos rios Tietê e Pinheiros na região metropolitana de São Paulo – RMSP: diagnóstico e diretrizes para a solução do problema*. São Paulo: IPT, v.1, (relatório IPT nº 30.796).
- KAWAKUBO F.S. 2005. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. *Anais...* São José dos campos: INPE, p. 2203-2210.

KRUEGER C.P.; VEIGA L.A.K. FAGGION P.L. 2003. Levantamento batimétrico no Rio Uruguai. In: XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, 1, Belo Horizonte. *Anais...* Rio de Janeiro: SBC, p. 1-5.

LANDSAT 7 São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2004. *1 imagem de satélite*. Canais 3, 4 e composição colorida 3, 4 e 5. Escala 1:50.000.

LEPSCH I.F.; BELLINAZI R.; BERTOLINI D.; ESPÍNDOLA C.R. 1991. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso*. 4ª aproxim., 2ª imp. rev. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

LOPES A.V. 1993. *Aplicação de métodos de previsão de assoreamento de reservatórios*. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, Dissertação de Mestrado, 127 p.

MEURER M. 2003. *Mapeamento batimétrico de reservatórios de geração de energia elétrica*. In: X Simpósio de Geografia Física Aplicada. Rio de Janeiro: UFRJ, 1 CD-ROM.

MIALL A.D. 1990. *Principles of Sedimentary Basin Analysis*, Springer-Verlag, New York, 668 p.

MORRIS G.L. & FAN J. 1997. *Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use*. New York, McGraw-Hill.

OLIVEIRA A.M.S. 1994. *Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios. Exemplo do reservatório de Capivari, rio Paranapanema, SP / PR*. Geografia Física do departamento de Geografia da Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 211 p.

PAIVA J.M.O. 1993. *Sedimentação de reservatórios de barragens*. Engenharia Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 217 p.

PONÇANO W.L.; GIMENES A.F.; LEITE A.A.G.; CARLSTRON FILHO C; PRADINI F.L.; MELO M.S. 1981. Metodologia para estudo de assoreamento de reservatório (III): roteiro para estudo de reservatórios no sul e sudeste brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 3, Itapema-SC. *Anais...* São Paulo: ABGE, p. 331-353.

- RAMALHO FILHO A. & BEEK K.J. 1995. *Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras*. 3ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 65 p.
- RAMOS, C.L. 1999. *Definição do potencial de retenção de sedimentos finos no reservatório de Pirapora*. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte-MG. Porto Alegre: ABRH, p. 1-14.
- RENÉE P.R.; ERNESTO M.; PACCA I.G.; COE R.S.; GLEN J.M.; PRÉVOT M.; PERRIN M. 1992. The age of the Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. *Science*, 258:975-9.
- ROSS, J.L.S. 1990. *Geomorfologia, ambiente e planejamento*. 1ª ed. São Paulo: Contexto, v 1, 80 p.
- ROSS, J.L.S. 1994. *Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados*. In: Revista do Departamento de Geografia, nº8, FFLCH-USP, São Paulo.
- ROSS, J.L.S. 1996. Geomorfologia Aplicada aos Eias-Rimas. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (org). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand, p. 291-336.
- RODRIGUES, S.C. 1998. *Análise empírico-experimental da fragilidade relevo-solo no cristalino do planalto paulistano: sub-bacia do reservatório Billings*. Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado.
- RUBIN J.C.R. 2002. *Sedimentação Quaternária, Contexto Paleoambiental e Interação Antrópica nos Depósitos Aluviais do Alto Rio Meia Ponte, Goiás/GO*. Geociências e Meio Ambiente do Campus da Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, Tese de Doutorado, 324 p.
- SALOMÃO F.X.T. 1991. *Erosão e a ocupação rural e urbana*. In: Curso de Geologia Aplicada a Problemas Ambientais. [s. l.]: AGAMA-DIGEM, v. 1.
- SAUNITTI R.M. 2003. *Estudo sobre sedimentação no reservatório da barragem do rio Passaúna*. Departamento de Geologia do Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Dissertação de Mestrado, 120 p.
- SILVEIRA, C.T. 2005. *Estudo das Unidades Ecodinâmicas da paisagem na APA de Guaratuba/PR: subsídios para o planejamento ambiental*. Departamento de Geologia do Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Dissertação de Mestrado, 143 p.

SPAROVEK R.B.M.; TORRADO P.V.; SPAROVEK G. 1999. Erosão em sulcos, entressulcos e voçorocas em uma microbacia de Piracicaba (SP) intensivamente cultivada. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 56, n. 4, out/dez.

SPORL C. 2001. *Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata*. Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 165 p.

STEIN D.P.; PONÇANO W.L.; SAAD A.R. 2003. Erosão na bacia do rio Santo Anastácio, oeste paulista. *Revista Geociências*, São Paulo: UNESP v. 22, n. 2, p. 143-162.

STEVAUX J.C. 1993. *O rio Paraná: Geomorfogênese, sedimentação e evolução quaternária do seu curso superior (Região de Porto Rico, PR)*. Geologia Sedimentar do Departamento de Geologia da Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 242 p.

STRAHLER A.N. 1952. Hipsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, v. 63, n. 10, p. 1117-1142.

SURFER versão 8.0. 2000. *Goldem Software: conjunto de programas*. 1 CD-ROM e manuais.

SUGUIO K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 317 p.

SUGUIO K. 2003. *Geologia sedimentar*. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 400 p.

SUGUIO K. & BIGARELLA. J.J. 1990. *Ambientes fluviais*. 2ª ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e Universidade Federal do Paraná (UFPR), 183 p.

TRICART, J. 1977. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: FIBGE.

VILHENA R.M.; ROIG H.L.; MENESES P.R. 2003. *Determinação do assoreamento de reservatório utilizando técnicas de geoprocessamento, o caso do reservatório de Funil – RJ*. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte-MG, p. 2649-2651. CD-ROM.

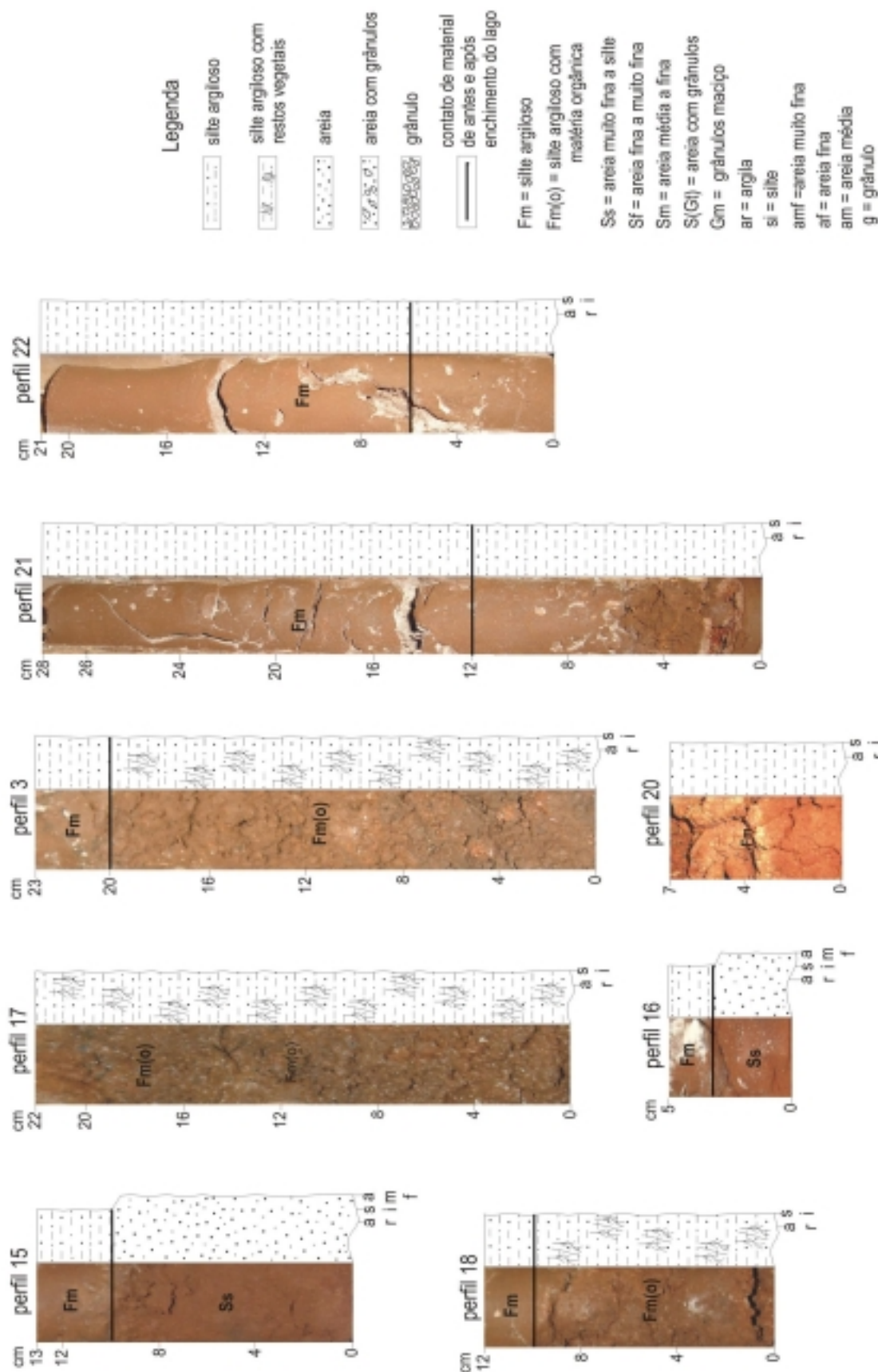
WENTWORTH C.K. 1922. *A escale of grade and class terms for clastic sediments*. *Joual of Geology*. 30:377-392 p.



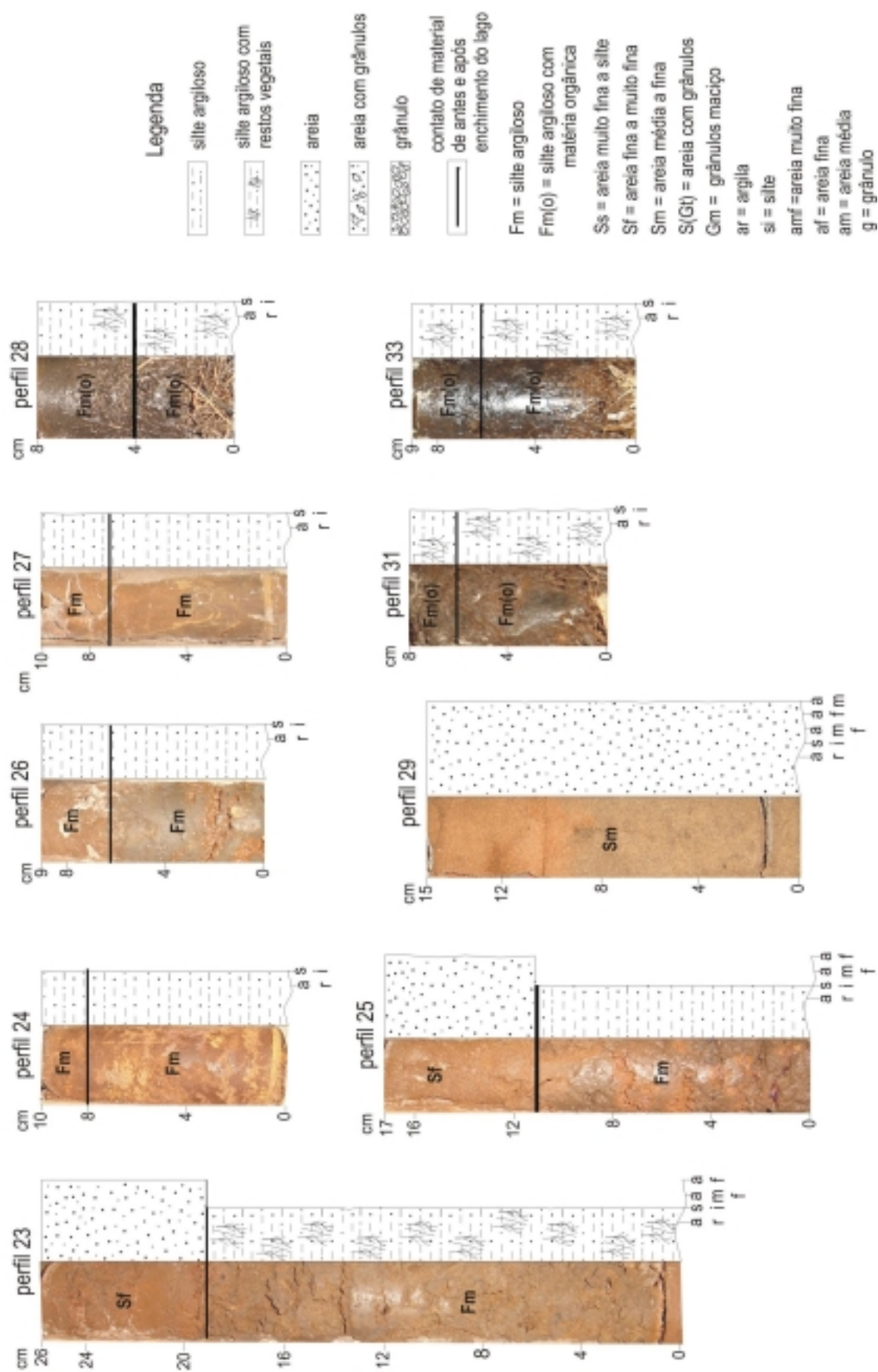
WILSON JÚNIOR G. 1992. *Estudos hidráulico-sedimentológicos para a caracterização do movimento sedimentar da bacia hidrográfica do rio Iguaçu*. Proposta Técnica Departamento de Estudos e Projetos. Rio de Janeiro: Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagos (SERLA).



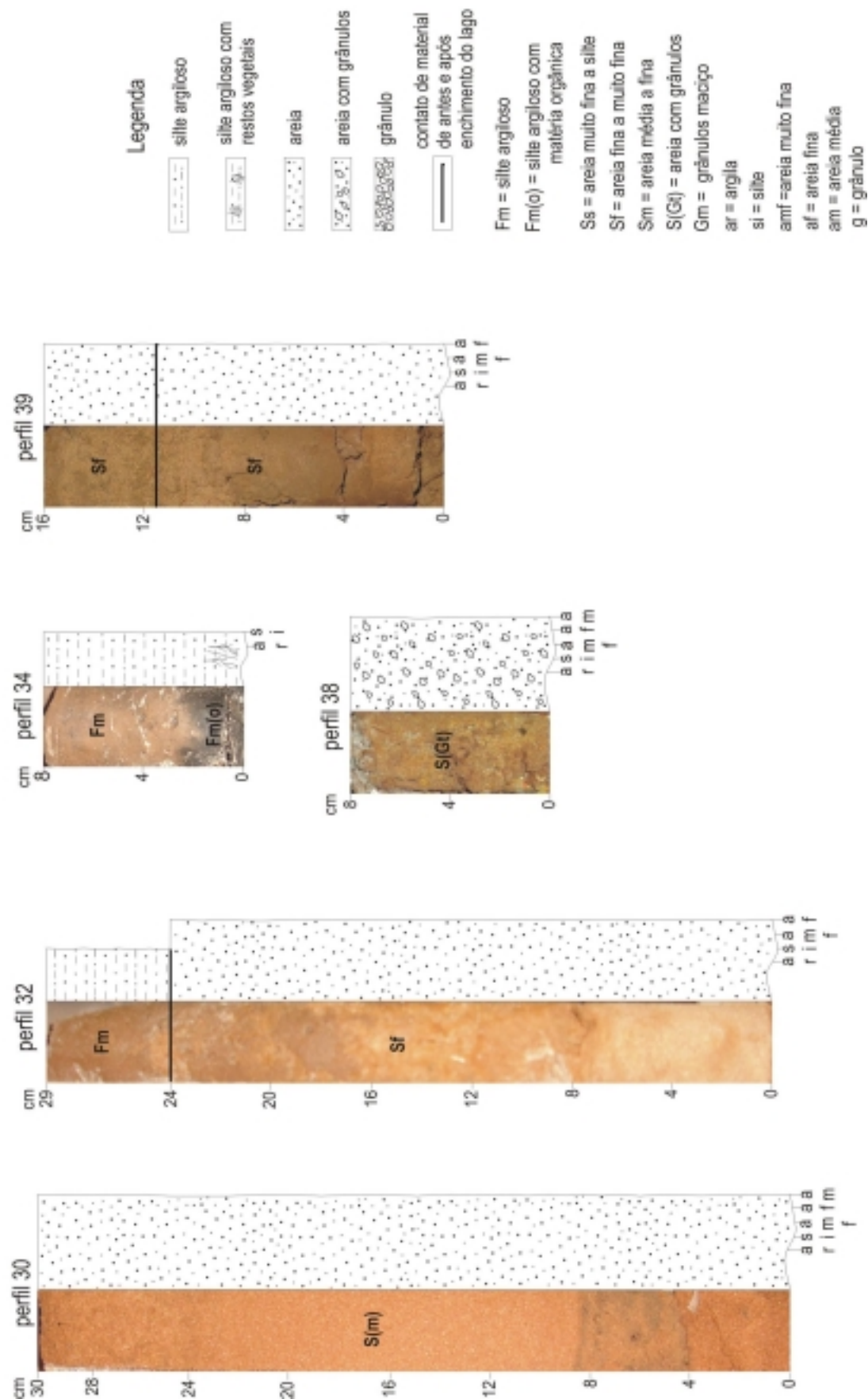
Anexo 1B: perfis verticais de depósitos de fundo do lago



Anexo 1C: perfis verticais de depósitos de fundo do lago



Anexo 1D: perfis verticais de depósitos de fundo do lago





Anexo 1E: perfis verticais de depósitos de fundo do lago

